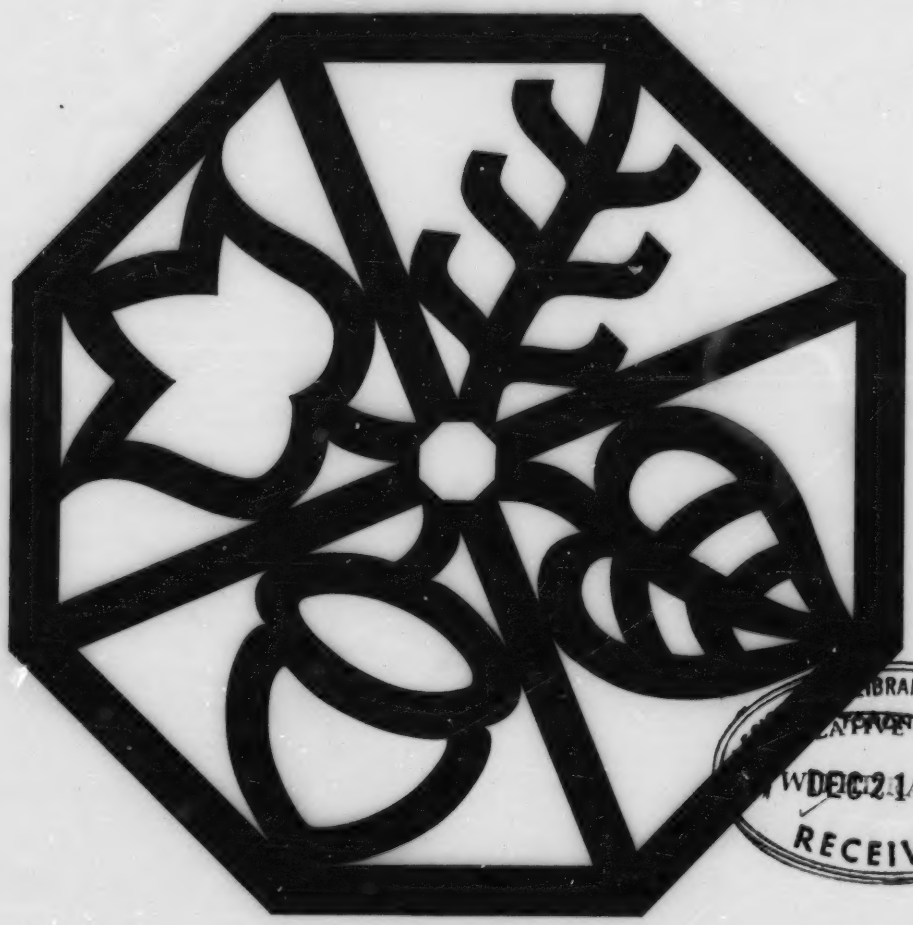
Les Floralies internationales de Montréal

COLLOQUES SCIENTIFIQUES

16 Perspectives de l'horticulture cultures abritées



LIBRARY OF ONTARIO
LIBRARY
DEC 21 1981
RECEIVED

Collection Études et dossiers de la Documentation québécoise

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture
des Pêcheries et de l'Alimentation

102-00789/

Les Floralies internationales de Montréal

COLLOQUES SCIENTIFIQUES

n° 16 Perspectives de l'horticulture cultures abritées

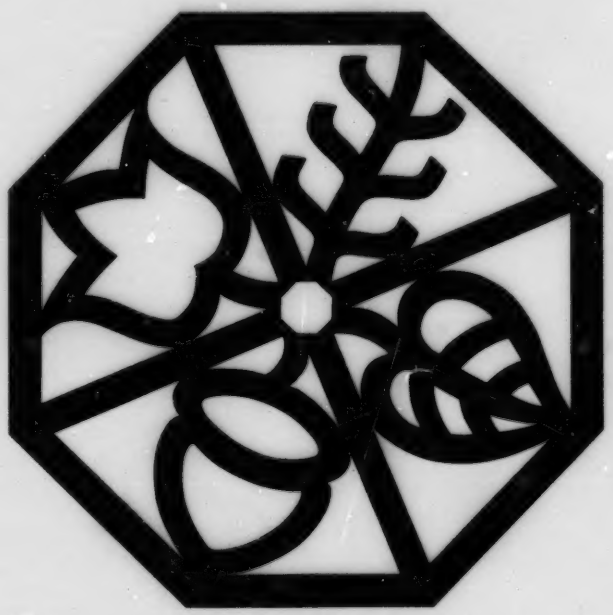
12

Les Floralies internationales de Montréal

COLLOQUES SCIENTIFIQUES

N° **16**

Perspectives de l'horticulture cultures abritées



Collection Études et dossiers
de la Documentation québécoise

Gouvernement du Québec
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation

Édition réalisée
à la Direction de l'édition,
Direction générale des
publications gouvernementales,
ministère des Communications,
par Eugénie Lévesque.

Version française:
Direction de la traduction
Ministère des Communications

Traduction:
Pierre Larochelle

Révision:
Marie Pelletier

Conception graphique:
Jacques Pellerin

Graphisme:
Michèle Clavel
Gilles Bélanger
André Barthe
Gilles Laplante

Dactylographie:
Sylvie Hébert

Correction typographique:
Renée Dolbec

© 1981 Gouvernement du Québec
Tous droits réservés sans l'autorisation
écrite de la Direction générale des
publications gouvernementales

Dépôt légal — 4e trimestre 1981
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-551-04373-5

Colloque international
tenu à Montréal
le 22 août 1980

sous le haut patronage de
Monsieur Jean Garon
ministre de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation

de Monsieur André Boily
commissaire général des Floralies

sous la direction de
Monsieur Pierre Bourque
directeur technique des Floralies

et de Madame Agnès Ratelle, agronome

Collaboration

Les Floralies 1980
Le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec
La Station de recherche de Saint-Jean, Agriculture Canada
La Fédération des pomiculteurs du Québec
L'Association des producteurs de serre du Québec
Le Jardin botanique de la Ville de Montréal
La Société d'animation du Jardin et de l'Institut botaniques

Contribution financière:
Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec
Centre horticole Jean-Guy Charbonneau Inc., Saint-Rémi
Chanteclerc, Cidrobec et Dumont, Rougemont
Chipman Co. Ltd., Longueuil
Compagnie CIL-Division des plastiques
Coopérative des pomiculteurs de Farnham, Farnham
Coopérative fédérée de Québec, Montréal
Lassonde et Fils, Rougemont
Lubec, Inc., Saint-Antoine-Abbé
Niagara Chemicals (FMC), Longueuil
Pépinière Dominique Savio, Saint-Jean-Baptiste-de-Rouville
Pépinière Hertel Gagnon, Compton
Pépinière Pierre Noreau, Oka
Pépinière Romont, Rougemont
Serres Harnois et Irrigation Saint-Thomas Inc. (Les), Saint-Thomas

Collaborateurs:
S. Coolman, Hollande
Normand F. Childers, États-Unis

Note de l'éditeur

Les conférences sont publiées dans
la langue utilisée par les conférenciers.
Une version française accompagne le texte
des conférenciers non francophones.

Préface

Dès le début, l'aspect scientifique des Floralies internationales 1980 a compté pour beaucoup dans la détermination du Gouvernement du Québec de tenir cet événement en sol québécois.

Les Floralies internationales nous sont en effet apparues comme un formidable tremplin de promotion de l'horticulture ornementale auprès de la population, et en outre, surtout le moyen de hausser le niveau d'expertise de nos professionnels en les mettant en contact avec les plus grands spécialistes du monde entier.

Tant par leur nombre et leur qualité que par leur diversité, les vingt colloques scientifiques tenus dans le cadre des Floralies internationales 1980 ont constitué un précédent dans l'histoire de ces grandes expositions florales. L'importance des Floralies peut se mesurer par l'ampleur des investissements réalisés, le nombre de pays participants, la magnificence des exhibits floraux et la foule de visiteurs qui sont venus les admirer. Dans une perspective à long terme toutefois, les retombées les plus durables de cet événement se situeront au niveau des idées nouvelles, des technologies améliorées, des produits inédits qui jailliront des échanges entre nos professionnels et les quelque deux cents chercheurs et experts qui sont venus nous visiter pendant la durée des Floralies.

L'organisation de ces colloques a nécessité beaucoup d'efforts de la part des responsables horticoles des Floralies. Je tiens ici à souligner plus particulièrement le travail de l'horticulteur en chef de la ville de Montréal, monsieur Pierre Bourque, qui a été le grand animateur de ces rencontres scientifiques.

Quant à la participation du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, elle s'est concrétisée par l'affectation des sommes nécessaires à la tenue des colloques et à la diffusion de leur contenu scientifique. Malgré un budget que nous avons voulu le plus rigoureux possible, nous n'avons jamais accepté que soient diminuées ou affectées à d'autres fins ces sommes que nous avions prévues pour ces colloques et leur diffusion.

La présente publication vient assurer la permanence et l'accessibilité d'un véritable trésor d'expériences et de connaissances horticoles. Dans la mesure où nos professionnels et même nos amateurs "passionnés" sauront s'en servir, il n'y a pas de doute dans mon esprit que l'horticulture québécoise pourra économiser énormément de temps et d'efforts dans sa progression vers les plus hauts niveaux de compétence à l'échelle nord américaine et aussi, pourquoi pas, à l'échelle mondiale.

Le ministre de l'Agriculture,
des Pêcheries et de l'Alimentation

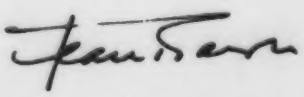


Table des matières

9 Préface

11 Table des matières

13 Avant-propos

15 Energy conservation and new energy sources in the greenhouse
by W.J. Roberts

27 L'économie d'énergie et l'utilisation de nouvelles sources énergétiques dans les serres
par W.J. Roberts

37 Plant production and climate of the glasshouse
by André Nisen

71 Production végétale et climat de la serre
par André Nisen

105 Nutrient film culture
by G.W. Winsor

133 La culture sur pellicule d'éléments nutritifs
par G.W. Winsor

153 Aperçu sur l'évolution et la situation des cultures légumières sous serres et abris en France
par Robert Brun

171 Lighting of protected cultures
by André Nisen

203 Eclairement des cultures protégées
par André Nisen

237 The mechanisation in greenhouses
by Ir. C.J. Van der Post

249 La mécanisation des serres
par Ir. C.J. Van der Post
263 Perspective pour le Québec
par Jean-Luc Lussier
272 Annexe 1: Adresses
273 Liste des publications
de la série Colloques scientifiques

Avant-propos

Montréal et le Québec tout entier ont été en 1980 les hôtes des premières grandes Floralies internationales à être tenues en terre d'Amérique. Cet événement a connu un succès exceptionnel et a laissé une marque indélébile au coeur et à l'esprit de millions de visiteurs.

Les thèmes novateurs qui ont caractérisé nos Floralies ont été nombreux et variés; mentionnons, à titre d'exemple, la participation officielle de 23 pays, représentant les grandes traditions horticoles mondiales, l'importance attachée à l'utilisation judicieuse de nos plantes indigènes et enfin l'empreinte de notre jeune école d'architecture du paysage.

La tenue parallèle de 20 colloques spécialisés sur les sciences et disciplines reliées à la biologie végétale et à l'horticulture ont apporté aussi un élément nouveau réunissant pour la première fois plus de 300 personnalités scientifiques de renommée mondiale.

Ces colloques ont été réalisés grâce à la collaboration intime du ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Pêcheries du Québec et du Jardin botanique de la Ville de Montréal. D'autre part, l'organisation matérielle de ces colloques n'aurait été possible sans la participation et le dévouement de la plupart des universités et sociétés horticoles du Québec et du Canada. Un hommage particulier revient à Mlle Agnès Ratelle, agronome, et cheville ouvrière de ce travail colossal.

Ainsi donc, en plus du parc floral permanent, les Floralies internationales, par la publication en français et en anglais du bilan le plus exhaustif actuel sur l'horticulture au seuil des années 80, auront laissé un héritage technique et scientifique de première valeur.

Que tous ceux qui ont été de près ou de loin impliqués dans la réalisation de ces colloques en soient vivement remerciés.

Pierre Bourque
Directeur technique des Floralies

Energy conservation and new energy sources in the greenhouse

W.J. Roberts

Biological and Agricultural
Engineering Department
Cook College-Rutgers University
New Brunswick, New Jersey
U.S.A.

Greenhouses are by nature energy intensive because of their requirement to grow plants by admitting maximum quantities of solar energy. Effective energy conservation techniques maintain high light transmission while providing energy conservation during the long nights. Several approaches have been taken by commercial growers to reduce energy required for heating greenhouses.

Management offers some possibilities to the grower. Crop substitution or changed crop scheduling can be beneficial in some instances. Regular greenhouse maintenance including replacement of broken glass, boiler maintenance and general all around tightening up of the greenhouse by caulking is helpful. Some growers have had success with a product called 'lap seal'. This material is applied to the edges of the glass and literally seals all the glass together. The only drawback seems to be the difficulty in changing a pane of glass when it has to be replaced. Some of our research indicates that the method of heating can reduce operating costs. This involves soil warming techniques and will be discussed later. Thermostats should be aspirated to make them more accurate. A unit which allows the heating system to override continuously will use more energy. Hot water systems should use mixing valves to adjust the water temperature in the piping according to the outside temperatures. On mild nights energy will be wasted if a charge of high temperature water is circulated through the house by the pump. The thermostat will shut off the pump but the entire heating system is filled with high temperature water which will elevate the house temperature unnecessarily.

The technique of double glazing using two layers of polyethylene film has been used extensively for over 15 years, Roberts, 1968. This technique offers low initial cost construction and reduces the energy consumption compared to single glazing by about 30 percent. Recently this technique has been used to reduce energy loss in glass greenhouses by covering directly over the glass. Bauerle et al., 1977, reported savings of 57 percent in one test greenhouse section. This has been substantiated

throughout the north-east by growers who report similar results. In some older, hard to heat houses, growers have reported that for the first time they were able to maintain temperatures on cold nights and crop production was significantly increased by warmer night temperatures.

Movable blankets or thermal screens, as they are often referred to, have made a tremendous impact on the energy use in some greenhouse ranges. The blankets are stored during the day at the gutter or at the truss line. They are closed at night, sealing off the attic space from the growing space. The heating system must be below the blanket and the blanket must be mechanically strong and have a good hand so that it can be stored during the day with a minimum of shade. These systems work the best in ridge and furrow or gutter connected houses where there is freedom to move post to post or gutter to gutter with no interference from heating pipes or hanging baskets. In gutter connected polyethylene houses where condensation is a problem, the curtain material must be able to allow water to pass through it. Water which accumulates on the blanketing material will destroy it unless provision is made for water accumulation. When using solid materials, such as black polyethylene, it is possible to control the condensation drip by drilling holes in the roll before the plastic is installed. These holes should be 20 cm on centers. Aluminized materials offer greater heat savings but at the same time, tend to be more expensive. Mears, 1977, reported a U value of 2,55 W/m^2k for a double filmed polyethylene greenhouse using a black polyethylene curtain compared to a value of 4,54 W/m^2k measured for a similar house with no blanket. This value has been further reduced to 1,9 W/m^2k when a porous aluminized blanket material was used.

The mechanism used for controlling the blanket can also be used for providing shade for crops during the summer. At present, there is no one material which will be a very effective night blanket and an adequate shade material. There is also controversy over the time to open the blanket and the proper time to close the blanket in the evening. Delaying the opening in the morning reduces the amount of cold air settling from

the attic but also reduces the impact of early morning light. Some researchers have suggested that the blanket should be controlled by a photo cell rather than a simple time clock. In this fashion, it is conceivable that on very dark days the blanket could be drawn very early.

The Agricultural Engineering Department at Rutgers has developed a system to utilize as much energy conservation as possible and then augment the fossil fuel required by the use of solar energy. This system has been reported previously at various meetings. It includes the following: External, low cost solar collectors, internal floor storage of the collected energy and blanketing systems which reduce the amount of energy required to grow the crop.

Figure 1 illustrates the construction of the low cost solar collector. Five layers of 0,15 mm polyethylene film are used to form the collector surface. The two front clear layers are separated by air and the two rear clear layers are also separated by air to provide some insulation and structural stability to the collector. Sandwiched between these two 'air mattresses' is a layer of black film. Water is pumped to the top of the collector to a header pipe which is pre-drilled to allow the water to run down over the surface of the black film where it is warmed. At the bottom of the collector, a gutter receives the water and returns it to storage.

Figures 2 and 3 illustrate the cross section and piping arrangement of the floor storage. Water is contained in the floor by a biocide-treated vinyl liner. Under the liner, board insulation is used to help reduce stress on the liner during the installation of the rock. The floor is capped with a 7,5 cm layer of porous concrete. This concrete is made with no sand. It provides a solid working surface, prevents weed growth and allows excess irrigation water to drain into the floor, eliminating wet spots which are harmful to plants grown on the floor.

Water is pumped to the solar collector field when the temperature in the

floor is 5° C cooler than the collector. When the temperature in the collector is within 2° C of the floor temperature, the pump stops and the water flows by gravity to the floor storage, eliminating any freezing problem. During the night, the warm floor delivers heat to the greenhouse as needed. With crops grown directly on the floor, this system has increased the soil temperatures dramatically with a corresponding growth response. Perhaps the greatest single advantage has been that ambient temperatures for poinsettias and bedding plants grown in flats on the floor have been reduced 3° -5° C. This has resulted in additional energy savings since the entire greenhouse can be operated at a lower temperature. Either a pipe network in the floor, figure 3, or a heat exchanger illustrated in figure 2, is used to heat the floor when no solar energy is available. These pipe loops are connected to a fossil fuel boiler which also provides additional heat to the greenhouse through heating pipe in very severe weather.

The third component of the system, the energy saving blanket, is installed so that it moves from gutter to gutter in the greenhouse, figure 4. Several materials have been tested and as indicated earlier, the savings possible range from 30 to 55 percent. Earlier problems encountered with water build-up on top of the curtain from condensation have been solved. Presently we feel that the woven polyester material with metallic aluminum pressed on it offers a good combination of economics, heat retention and handling ability while still allowing water to pass through it. A complete treatment of curtain performance is contained in a paper entitled, "Movable Thermal Insulation Blanket Systems" to be presented at the ASAE Energy Symposium in Kansas City in September 1980.

A large commercial installation of the Rutgers system has been made at Kube Pak Garden Plants, Inc. in Allentown, New Jersey. The system is installed in a 0,54 ha greenhouse, part of a 4,5 ha complex. The floor water storage capacity is 378 000 liters which is coupled to a 1 000 sq meter collector field. A 5,6 Kw pump is used to pump approximately 1 600 liters per minute to the collectors, figure 2. Results with the

collector indicate that on a good day, the expected energy collection is about 80-90 gallons of fuel oil equivalent. The solar collector has contributed in our research facility about 50 percent of the energy requirement over a four year testing period and the contribution at the Kube Pak facility about 45 percent. In a smaller greenhouse, the recommended collector area is one square meter of collector to one square meter of greenhouse floor space. In a large greenhouse of 1 000 square meters, the recommended ratio is one half square meter of collector to one square meter of greenhouse floor space. At the Kube Pak facility, the ratio was only 1 to 5 instead of 1 to 2, so the solar contribution was less than 50 percent.

In a further attempt to reduce fossil fuel consumption, we are designing systems to be used with waste warm water coming from power plants. Our research facility is located at the Public Service Electric and Gas Company Aquaculture Project at Trenton, New Jersey. This research, supported by PSE & G, has focused on growing vegetables in greenhouse beds on the warm floor created by the system. The primary difference in the two systems is that the quality of the water coming from the cooling tower or condensors must be reckoned with to avoid corrosion and system plugging. Energy saving blankets are used even though the source of heat is abundant and free. This limits the additional heat exchange surface needed in severe weather and reduces the additional cost of installation. Full back-up fossil fuel capacity is needed to heat the floor in the event of a power plant shutdown. The thermal flywheel capacity of the floor does help in a power outage situation.

In assessing the needs of the future, it seems that the first steps to be taken should be in the area of energy conservation. In new installations, this should include the installation of blanketing in a double glazed greenhouse. New large installations should consider the possibility of locating adjacent to a power station, cooling tower, industrial complex or other source of warm water, 30^{o}-40^{o} C, since the system described in this paper can utilize efficiently water in this

temperature range. Expensive air handling equipment is not needed since the primary heat exchanger is the floor. Solar collectors external to the greenhouse offer good possibilities as well. Cost of land or lack of it adjacent to existing greenhouses seems to be the only limiting factor with the Rutgers system described above.

This research has been supported by the New Jersey Agricultural Experiment Station and grants from the USDA and PSE & G. In addition to this, many companies, including Stauffer Chemical Co. and Monsanto, provided materials used in the research and demonstration projects.

Bibliography

1 Bauerle, W.L. and T. Short. 1977. *Conserving heat in glass greenhouses with surface mounted air inflated plastic.* Cir. 101, OARDC, Wooster, Ohio.

2 Mears, D.R., W.J. Roberts, J.C. Simpkins and P. Kendall, 1977. *The Rutgers solar heating system for greenhouses.* ASAE Paper #77-4009.

3 Roberts, W.J., 1968. *Double covering a film greenhouse using air to separate layers.* Proceedings 8th National Agricultural Plastics Conference, San Diego, California.

Figure 1 **Cross section of fixed solar collector.**

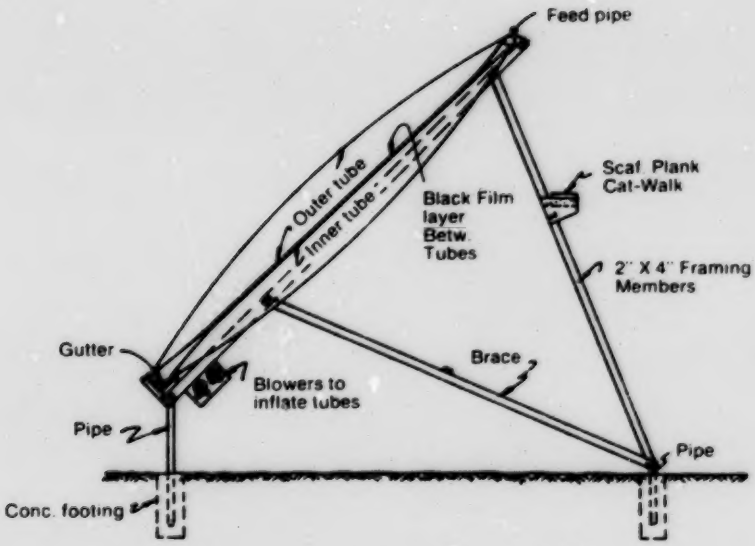


Figure 2 **Schematic plan of floor water flow.**

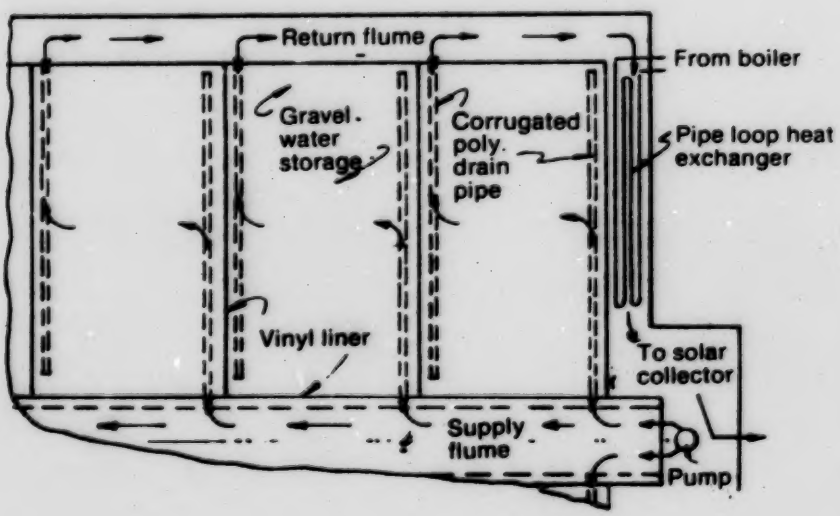


Figure 1 **Coupe transversale d'un capteur solaire fixe.**

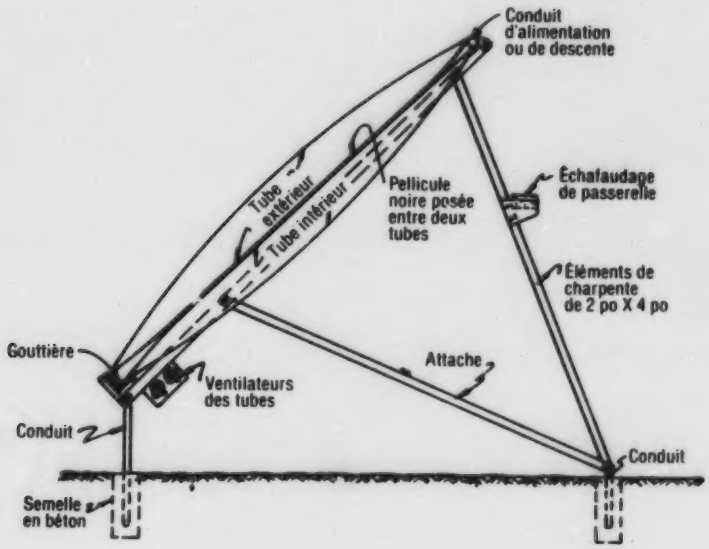


Figure 2 **Plan schématique de la circulation d'eau dans le plancher.**

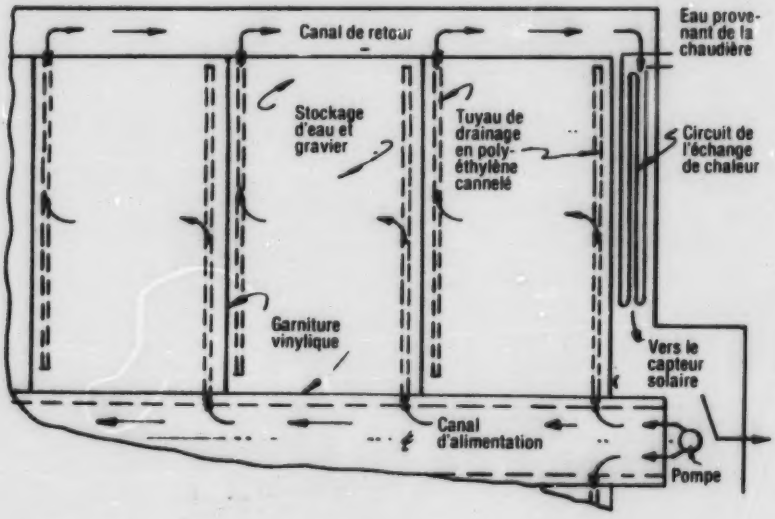


Figure 3 **Coupe transversale du plancher en béton poreux.**

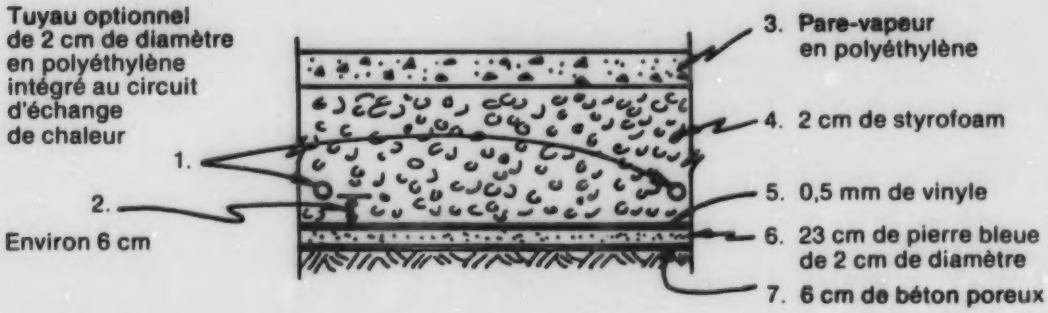


Figure 3 **Porous concrete floor cross section.**

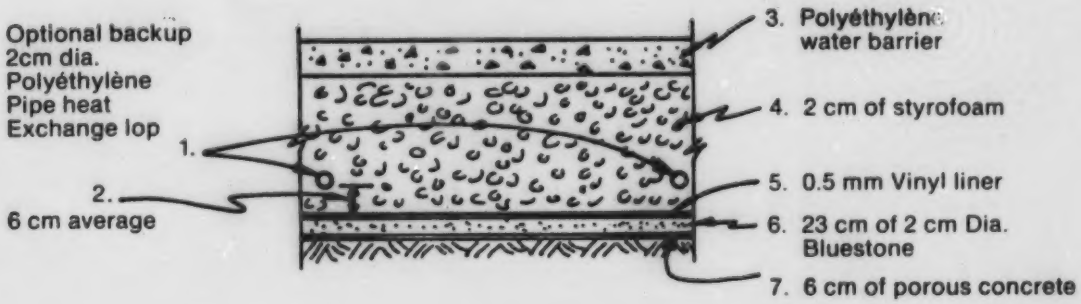
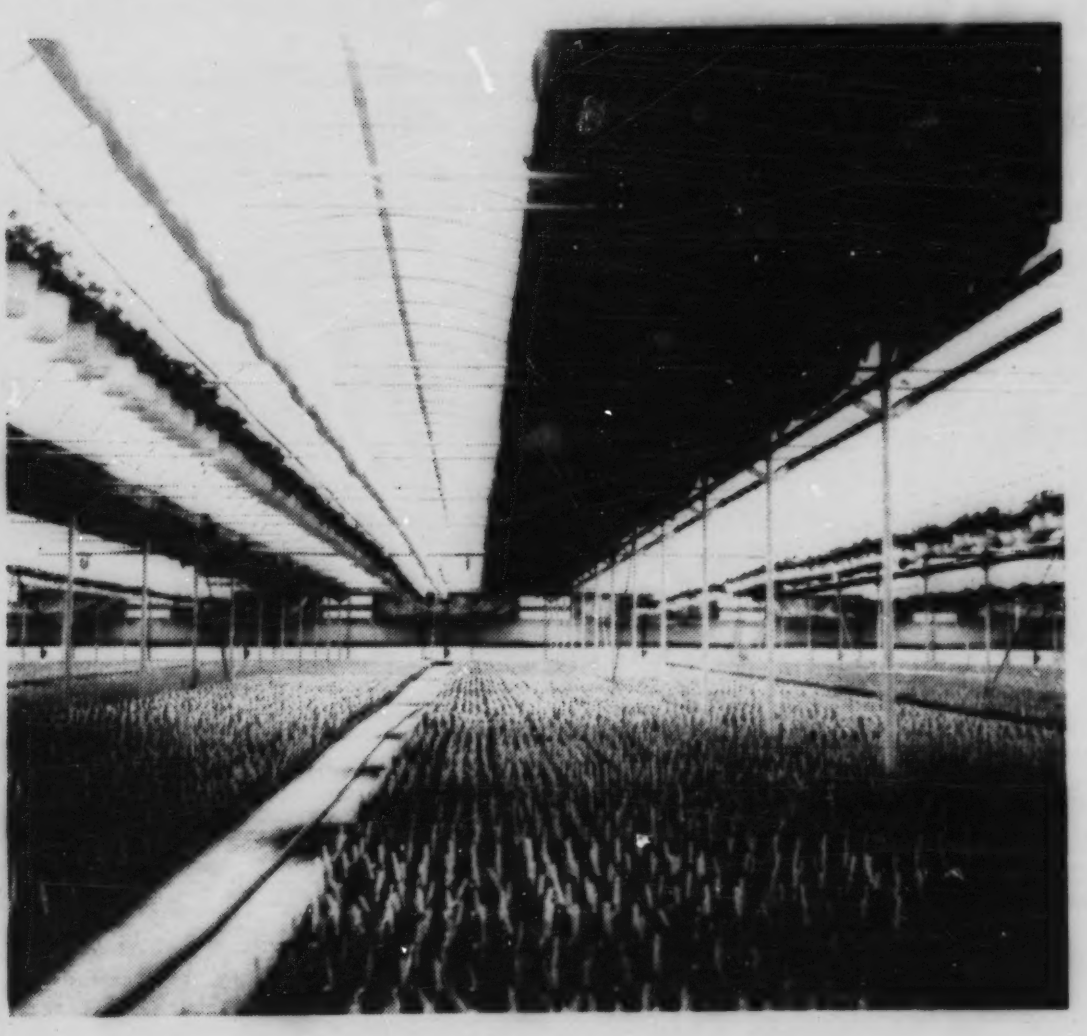


Figure 4 Vue intérieure de la serre de 0,54 ha qui permet d'observer, partiellement déployée, la couverture thermique permettant d'économiser l'énergie.

Interior view of the large 0,54 ha greenhouse showing the energy saving blanket in the partially closed position.



L'économie d'énergie et l'utilisation de nouvelles sources énergétiques dans les serres

W.J. Roberts

Département de biologie et d'agronomie
Collège Cook-Université Rutgers
New Brunswick, New Jersey
États-Unis

Par définition, une serre est une installation fortement consommatrice d'énergie, sa fonction étant de fournir aux plantes qu'elle abrite le maximum d'énergie solaire. Les techniques les plus efficaces d'économie d'énergie dans de telles installations sont cellesqui facilitent l'admission d'une grande quantité de lumière et permettent de conserver pendant les longues nuits l'énergie ainsi accumulée. Les producteurs commerciaux ont tenté de plusieurs façons de réduire la quantité d'énergie requise pour le chauffage de leurs serres.

Des économies peuvent être réalisées en améliorant la gestion, par exemple en variant ou modifiant dans certains cas le type de culture, en veillant au bon entretien des locaux et de la chaudière, en remplaçant les carreaux brisés, en calfeutrant un peu partout. Certains producteurs ont utilisé un produit de calfeutrage appelé "lap seal" et en ont été satisfaits; appliqué sur les bords d'une vitre, ce matériau la rend absolument hermétique. Le seul inconvénient semble être de remplacer par la suite un carreau brisé. Nos recherches indiquent aussi que le mode de chauffage peut avoir une incidence favorable sur les coûts d'exploitation. Cela exige l'emploi de certaines techniques de chauffage du sol dont nous reparlerons plus tard. Les thermostats devraient être ventilés en vue de les rendre plus précis. Si un appareil laisse une installation de chauffage fonctionner de façon continue, il fera augmenter la consommation énergétique. Les installations de chauffage à l'eau chaude devraient être pourvues de robinets mélangeurs pour régler la température de l'eau des conduits en fonction de la température extérieure. Par nuits douces, il y aura gaspillage d'énergie si la pompe fait circuler de l'eau chaude dans la tuyauterie. Même si le thermostat arrête la pompe de fonctionner, l'installation de chauffage est entièrement remplie d'eau chaude, ce qui fait inutilement s'élever la température des locaux.

Selon Roberts (1968), le vitrage double recouvert de deux pellicules de polyéthylène a été largement utilisé pendant plus de quinze ans. Cette technique est peu coûteuse lors de la construction et réduit la consommation d'énergie de 30 pour cent par rapport au rendement du vitrage simple.

Elle a récemment été utilisée pour diminuer les pertes énergétiques des serres vitrées, le vitrage double et le polyéthylène étant posés directement par-dessus le verre. Dans un ouvrage de Bauerle et al. (1977), on rapporte que des économies de 57 pour cent ont été réalisées dans une section d'essai d'une serre. Cette expérience a aussi été tentée par les producteurs du Nord-est qui ont obtenu des résultats analogues. Les producteurs possédant des serres plus anciennes et difficiles à chauffer ont indiqué que, pour la première fois, ils pouvaient garder une chaleur plus constante par des nuits froides et que par conséquent, leur production s'est considérablement accrue.

L'emploi de couvertures amovibles ou d'écrans thermiques, comme on les appelle souvent, a eu un impact considérable sur la consommation d'énergie dans certains secteurs de la culture en serres. Le jour, on range la couverture près des gouttières ou des fermes. On la déploie la nuit, de façon qu'elle sépare l'entretoit de l'espace réservé à la culture. L'installation de chauffage doit se trouver en-dessous de la couverture: cette dernière doit être résistante et facile à manier de sorte qu'elle crée le moins d'ombre possible lorsqu'elle est pliée pendant la journée. Ces types d'installations ont une efficacité optimale dans les serres dont le faîte et le chéneau ou la gouttière sont raccordés, car ainsi, il n'existe pas de tuyau de chauffage ou de paniers suspendus entre deux poteaux ou deux gouttières. Dans les serres recouvertes de polyéthylène dont les gouttières sont raccordées et où la condensation constitue un problème, le matériau de la couverture thermique doit permettre à l'eau de s'évaporer, car autrement il se détériorera. Si l'on utilise un matériau solide tel que le polyéthylène noir, on pourra prévenir le suintement en perçant des trous dans le rouleau de plastique avant l'installation. Ces trous doivent avoir un espacement de 20 cm de centre à centre. Les matériaux alumineux sont de meilleurs isolants, mais sont aussi plus coûteux. D'après Mears (1977), le facteur U d'une serre recouverte de deux pellicules de polyéthylène et pourvue d'une couverture thermique de polyéthylène noir est de 2,55 W/m^2k et celui d'une serre semblable dépourvue de couverture thermique est de 4,54 W/m^2k. Ce facteur est même

réduit à 1,9 W/m^2k si l'on emploie une couverture faite d'un matériau alumineux poreux.

Le mécanisme de commande de la couverture peut en outre servir à procurer de l'ombre aux cultures d'été. A l'heure actuelle, il n'existe aucun matériau qui puisse constituer une couverture efficace pendant la nuit et un bon écran pendant le jour. De plus, il y a controverse au sujet de l'heure à laquelle on doit déployer la couverture le soir ou la ranger le matin. Si l'on tarde à la plier le matin, la quantité d'air froid logé dans l'entretoit sera réduite, mais on perdra le bénéfice de la première lumière du jour. Certains chercheurs suggèrent de commander la couverture par une cellule photovoltaïque plutôt que par une simple minuterie: de cette façon, on peut s'imaginer que par jours très sombres la couverture pourrait être tirée très tôt.

Au Département d'agronomie de l'Université Rutgers, on a mis au point un système qui permet de maximiser les économies d'énergie et de réduire l'utilisation de combustibles fossiles en se servant de l'énergie solaire. Ce système, qui a été étudié au cours de réunions précédentes, comprend des capteurs solaires extérieurs peu coûteux, un système de stockage de l'énergie installé dans le plancher et des couvertures qui réduisent la quantité d'énergie nécessaire à la maturation des produits.

La figure 1 illustre la façon de construire à peu de frais un capteur solaire. La surface est constituée de 5 couches de polyéthylène de 0,15 mm. Les deux couches transparentes à l'avant, de même que les deux d'en arrière, sont séparées par une lame d'air qui sert d'isolant et assure la stabilité du capteur. Une pellicule de polyéthylène noir est insérée entre ces deux lames d'air. L'eau est pompée en haut du capteur vers un tuyau de descente préalablement troué pour permettre à l'eau de s'écouler sur la surface de la pellicule noire, où elle se réchauffe. Au bas du capteur, une gouttière recueille l'eau et la renvoie à l'installation de stockage.

Les figures 2 et 3 présentent la coupe transversale et les conduits du plancher de stockage. L'eau est retenue dans le plancher par une garniture de vinyle traitée au biocide. On a prévu un panneau isolant sous cette garniture pour aider à réduire la contrainte exercée sur cette dernière au cours de l'installation des pierres. Le plancher est revêtu d'une couche de 7,5 cm de béton poreux exempt de sable, qui offre une surface de travail solide, empêche la pousse des mauvaises herbes et permet au surplus d'eau d'arrosage de s'égoutter dans le plancher, supprimant ainsi les poches d'eau néfastes aux plantes cultivées sur le sol.

L'eau est pompée vers la batterie de capteurs quand la température du plancher est de 5° plus froide que le capteur. Lorsque la différence entre la température du capteur et celle du plancher est inférieure ou égale à 2°, la pompe s'arrête et l'eau s'écoule par gravité vers la surface de stockage, éliminant ainsi toute possibilité de gel. Pendant la nuit, la chaleur du plancher se transmet à l'intérieur de la serre. Ce système provoque une augmentation considérable de la température du sol et par conséquent stimule la croissance des produits cultivés sur le sol. Le plus grand avantage consiste peut-être en une réduction de 3 à 5 degrés de la température ambiante idéale pour la culture des poinsettias et des plantes à massifs dans des clayettes sur le plancher. Il en résulte donc des économies d'énergie supplémentaires étant donné que la serre entière peut être exploitée à des températures inférieures. Quant la quantité d'énergie solaire est nulle, le plancher est chauffé au moyen d'un réseau de conduits installés dans le plancher (figure 3) ou d'un échangeur de chaleur (figure 2). Ces conduits sont raccordés à une chaudière alimentée au combustible fossile qui peut dispenser également de la chaleur supplémentaire à l'intérieur de la serre par un tuyau de chauffe, si la température est très rigoureuse.

La couverture, troisième élément du système, est installée de façon à pouvoir s'étendre d'une gouttière à l'autre (figure 4). Comme nous l'avons déjà mentionné, plusieurs matériaux ont été mis à l'essai et les économies possibles s'échelonnent entre 30 et 55 pour cent. On a résolu

les problèmes que causaient au début les poches d'eau dues à la condensation sur la couverture. En ce moment, nous croyons qu'un tissu de polyester pourvu d'un revêtement métallique en aluminium offre à la fois des avantages économiques, une bonne rétention de chaleur et la maniabilité désirée, tout en étant perméable. Le rendement de cette couverture est étudié en détail dans un document intitulé "Movable Thermal Insulation Blanket Systems" (Couvertures isolantes thermiques amovibles) qui sera présenté lors du Symposium sur l'énergie de l'ASAE à Kansas City, en septembre 1980.

Une importante installation commerciale a été construite d'après le modèle Rutgers sur le terrain de la société Kube Pak Garden Plants, Inc. à Allentown au New Jersey. Le système est installé dans une serre de 0,54 ha qui fait partie d'un complexe de 4,5 ha. La capacité de stockage d'eau du plancher est de 378 000 litres; le plancher est relié à une batterie de capteurs ayant 1 000 m^2 de surface. Une pompe de 5,6 Kw aspire environ 1 600 l/mn d'eau vers les capteurs (figure 2). On a calculé que, dans de bonnes conditions, la quantité d'énergie fournie par les capteurs est généralement équivalente à 80-90 gallons de mazout. Dans nos installations d'essai, le capteur solaire a fourni environ 50 pour cent des besoins énergétiques au cours d'une période d'essai de quatre ans, et à l'installation de Kube Pak, 45 pour cent. Dans une serre de moindre envergure, on recommande que la surface de capteurs soit égale à celle du plancher de la serre. Pour une grande serre de 1 000 m^2, le rapport surface de capteurs/surface de plancher devrait être de 0,5 m^2/m^2. A l'installation de Kube Pak, ce rapport n'était que de 1/5 au lieu de 1/2, de sorte que la contribution de l'énergie solaire au chauffage était inférieure à 50 pour cent.

Un autre projet destiné à réduire la consommation de combustible fossile consiste à concevoir des systèmes qui utilisent l'eau chaude résiduaire des centrales électriques. Notre centre de recherches est situé sur le site du Public Service Electric and Gas Company Aquaculture Project (Projet d'aquiculture de la Société publique du gaz et de l'électricité)

à Trenton au New Jersey. Ce projet, qui est subventionné par cette même Société, est consacré à la culture de légumes en rangs disposés sur un plancher chauffé par le système expérimental. La principale différence entre les deux systèmes est qu'il faut surveiller la qualité de l'eau qui provient de la tour de refroidissement ou des condenseurs, afin d'éviter la corrosion et le blocage du système. On utilise les couvertures thermiques même si la source de chaleur est abondante et gratuite. La surface supplémentaire requise pour l'échange de chaleur par temps froid se trouve ainsi réduite, tout comme les coûts d'installation. En cas de panne de la centrale, il faut prévoir une installation d'appoint alimentée au combustible fossile, capable de prendre entièrement la relève pour chauffer le plancher. La capacité de stockage thermique des volants dans le plancher est d'une aide indiscutable en cas de panne de courant.

Si l'on évalue les besoins futurs, il semble que les premières mesures à prendre viseront l'économie d'énergie. Dans les nouvelles installations, cela devrait se traduire par l'utilisation de couvertures thermiques et d'un vitrage double dans les serres. S'il s'agit d'un établissement assez vaste, on envisagera la possibilité de choisir un emplacement à proximité d'une centrale énergétique, d'une tour de refroidissement, d'un complexe industriel ou de toute autre source d'eau chaude à une température entre 30 et 40 degrés, étant donné que le système dont il est question dans le présent document peut fonctionner efficacement avec de l'eau et à une telle température. Le principal échangeur de chaleur est le plancher, par conséquent il est inutile de prévoir un équipement coûteux de conditionnement d'air. Les capteurs solaires extérieurs offrent également de nombreuses possibilités. Le coût du terrain, ou tout simplement le manque de terrain adjacent à une serre existante, semble être le seul obstacle à l'adoption du système Rutgers.

Ce projet de recherche a été subventionné par la New Jersey Agricultural Experiment Station (Station expérimentale d'agronomie du New Jersey), par le USDA (Département de l'Agriculture) et le PSE&G (Société publique du gaz et de l'électricité). De nombreuses compagnies, dont la Stauffer

Chemical Co. et la Monsanto, ont en outre fourni des matériaux qui ont servi aux projets de recherche et de démonstration.

Bibliographie

1 Bauerle, W.L. et T. Short, 1977, *Conserving heat in glass greenhouses with surface mounted air inflated plastic*, Cir. 101, OARDC, Wooster, Ohio.

2 Mears, D.R., W.J. Roberts, J.C. Simpkins et P. Kendall, 1977, *The Rutgers solar heating system for greenhouses*, Document ASAE nº 77-4009.

3 Roberts, W.J., 1968, *Double covering a film greenhouse using air to separate layers*. Proceedings 8th National Agricultural Plastics Conference, San Diego, Californie.

Plant production and climate of the glasshouse

André Nisen

Faculté agronomique de l'État
Belgique

1 *Introduction*

We have been asked to handle the subject of "Photosynthesis and climate in greenhouses". The word "photosynthesis" sounds too theoretical and refers too much to the physiological aspect of the problem of production of plants under shelter. Therefore we prefer the concept of "vegetable production" which sounds more real, more practical and undoubtedly corresponds better to our experience as an eco-climatologist agronomist.

We shall try to see the problem practically, without referring to the latest discovery in the field but grounding ourselves on our experience and on our own view of the problem. We prefer to consider a vegetable "production" spread over a longer period and with an actual agronomic significance rather than an instantaneous - often short-lived- photosynthetis.

Photosynthesis is traditionally expressed in this formula:

$$_{n}CO_2 + {}_{2n}H_2O \xrightarrow[\text{chlorophyll}]{+\ h\nu \quad \text{(light)}} {}_{n}CH_2O + {}_{n}H_2O + {}_{n}O_2$$

The reverse phenomenon is known to be the representation of respiration.

The factors CO_2, H_2O, light energy and "heat" favour this assimilation which occurs through chlorophyll.

To reach such chemical equilibrium it is necessary that:

- the gas exchanges (via stomates) may occur (penetration of CO_2, rejection of O_2...) and that
- the substances created migrate at a high enough speed (these two aspects are analysed in paragraph 3.6).

Net production is of course the difference between raw production (total photosynthesis) and respiration.

We shall thus analyse any individual factor that conditions photosynthesis but - as said before - this will be done for the sake of the plant as a whole (not for the sake of the cell) for the medium term - not the instantaneous production's sake - and for the glasshouse climate's (and not for sheer physiology's sake).

2 *The plant and the vegetable production*

2.1 The plant as first factor of the glasshouse climate

From a practical point of view the *plant* is the first factor that must be taken into consideration.

The grower's first aim is to reach the best qualitative and quantitative outputs for a well-determined plant having a true commercial value. This does not mean reaching the highest possible rate of production of fresh or dry matter or beating the olympic record of chlorophyllian synthesis.

The problem of C_4 and C_5 plants will not be dealt with here since we feel our present climate conditions do not favour the growing of any of these in glasshouses.

Thus the plant itself acts as a limit to the grower's performance. However, as we often say, there is a varietal answer to many a problem. We mean that within a same species some varieties prove to be more productive than others under given eco-climatological conditions. To put it another way, if it is an absolute necessity to try to create the best climate in glasshouses, the species and varieties are to be chosen relatively to the limiting factors of the climate.

2.2 Own features of the plant

The present energy crisis has made temperature to prevail over light in a glasshouse. More and more studies are carried out to select varieties which require little heat (and more secondarily little light) or at least to determine precisely the (day and night) thermal thresholds of the plants being grown.

Nowadays important use seems to be made of an old notion already known by REAUMUR (± 1750 !). We are referring to the "sum of

temperature" ("degrees.days" or "degrees.hours") that represents the quantity of heat a plant being grown requires [$Q = (T_i - T_s).\ t$] to pass from one stage of growth or of development to the next. Indeed, for this passage a plant needs a certain amount of heat (calculated from a physiological threshold "s"); the more similar the observed temperature "T_i" is to the plant's reaction threshold, the longer the time "t" to cover this stage will be.

Therefore, preference must be given to plants which require little heat and to the keeping in greenhouse of temperatures which cause the plants to progress more or less linearly.

As to BERNINGER and other research workers, the vegetative zero of many plants ranges about 5° C. He has observed, among others, that the "SONIA" and "BELINDA" varieties of *roses* compare as to their T° requirements and rank among the least requiring glasshouse roses. On the average, they need sums of T° ranging about 17 000 (° C.xH) for <<one generative cyclus>> i.e. for the time extending from one picking up of a flower to the next.

A "SUPER" *chrysanthemum* requires about 28 000 (° C.xH) "net" i.e. 77 20°-days or 117 15°-days from the plantation of the rooted cutting till blossoming. (The difference recorded during consecutive experiments seem to be due to variations of insolation; it is likewise possible to have a more precise idea of the thermal requirements by being more accurate in the determination of the threshold (vegetative zero) of each species and even of each variety: for us 5° is but an approximation).

At last, if a *gladiolus* requires 26 000 (° C.xH), it will take - from the 1st November till March, under the conditions prevailing in Fréjus (the French Riviera) - 108 days from the planting of the bulb to blossoming if the T° within the glasshouse is 15° C (10° being efficient); if the T° is 11° (6° being efficient) it will take 180

days, which represents the lower limit. On the other hand, if blossoming needs 72 days only at 20° (15° being efficient) there are risks of blindness which leads to conclude that the favourable T° ranges from 11° to 15°.

Another conclusion is that for 15° such cultivation consumes - in Fréjus - some 5,5 L. of fuel, FOD, but 7 L/m^2 for 18° C if the cultivation period extends from September to December.

(The plants may be similarly characterized by their respective *needs of light).*

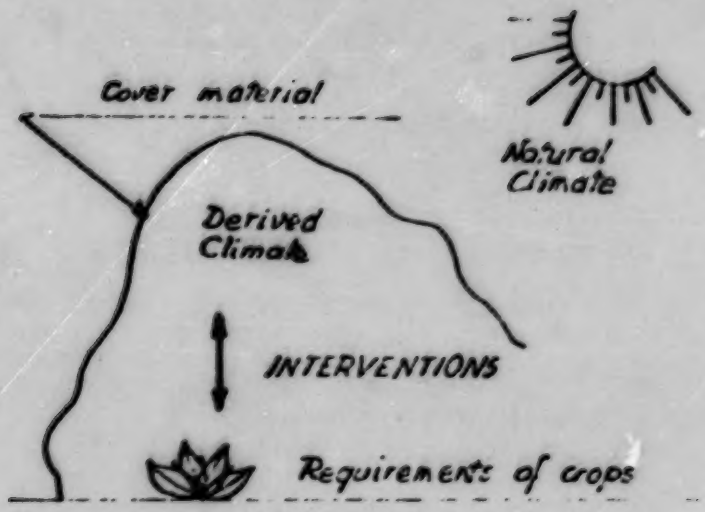
It is interesting to note that since the glasshouse effect is mainly characterized by a rise in temperature, it may be determined by the assessment of the difference of T° (reached inside the closed glasshouse and recorded outside) multiplied by the time (in hours for example) such difference remains.

3 *Climate of the greenhouse and plant production*

The shelter (greenhouse) may be considered as a *screen* protecting the plants being grown in it from the *natural climate* of a region; through its properties, the screen transforms the natural climate into a *"derived" one* that appears spontaneously in the glasshouse as a result of the characteristics of both the climate and the greenhouse. The covering material - which is supposed to create a "spontaneous" climate which meets the requirements of a plant - is to be chosen in relation to the region where the shelter is built. Inversely, the growing conditions under shelter created by a given covering material not only depend on the own characteristics of the latter but also on the characteristics of the region where the material is used. For example insulating double glazing (through which important energy savings are achieved), gives better cultural results in regions where the winter climate is sunnier (low latitude or continental region) than where the light balance is adverse...

Figure 1

What is a shelter ?



The climate conditions created by a shelter are to be compared to the requirements of the plants being grown (so long as they are known precisely enough) if one wants to determine to which extent *human intervention* is necessary to adapt the derived climate to the requirements of the crops.

No single factor of the climate acts alone but "in connexion" with the others; to view the action of any of these factors separately would be nonsensical. Therefore, we will more often than not consider interactions between the elements of the climate.

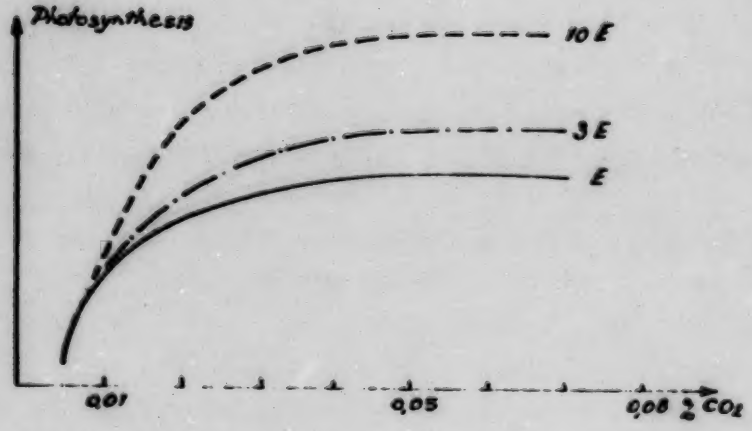
This emphasizes how important the photometric and thermal characteristics of the covering materials are. Details of this will be given in the chapter "light".

3.1 Action of CO_2

The CO_2 concentration in air is very low (it averages 0,03%); in the vicinity of leaves, the concentration does not occur unless air moves sufficiently.

Figure 2

Photosynthetic activity depending on the quantity of CO_2 in air and on the solar energy available (E).



The true concentration within a greenhouse is from once to twice as high in the morning but descends rapidly down to 1/3 of the average value mentioned above (as a result of air stability) i.e. down to the CO_2 compensation point (round 0,01 %).

Many plants see their photosynthetic activity increased with insolation and simultaneously with the quantity of CO_2 in air. However, it is interesting to note that, *on the one hand* for a given light level, photosynthesis does not follow CO_2 concentration all the time, and... *on the other hand,* that the yielding of fresh matter is not proportional to the solar energy received.

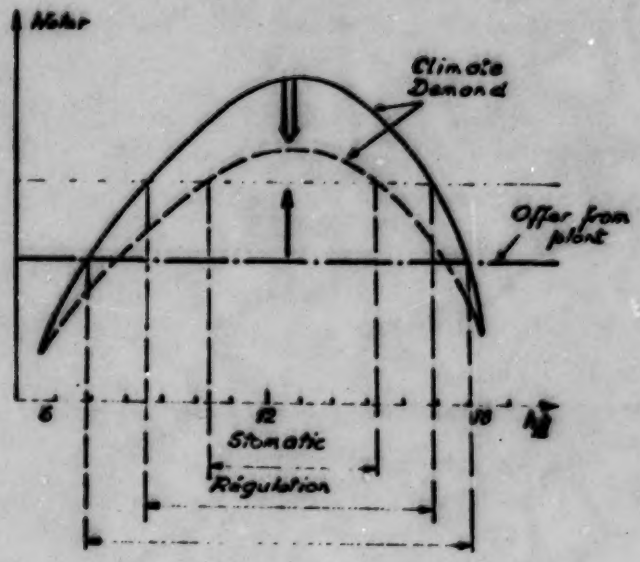
Thus it appears that theoretically most crops being grown in greenhouses need "carbonated fertilization": the average increase in production through CO_2 supply ranges from 10 to 30 % (long-term assessment).

The way the crop reacts to CO_2 supply fixes the economic limit of the operation: a vegetative growth plant reacts more than a plant the yielding of which implies a generative development (fruit). Such operation occurs mainly through gas burning either in a general boiler (recuperation of part of the gas burnt) or in confined atmosphere. The European horticulturists often hesitate when faced to the high cost of the automatically regulated devices. They choose the empiric way of working (by continual approaches).

CO_2 supply proves to be a necessity when insolation is sufficient and the greenhouse is kept closed (winter and spring); it seems to have no effect in the case of low insolation and, in autumn, when greenhouses are largely ventilated.

Figure 3

Relation between water "offer" from plant and water "demand" of climate **(after BOUCHET et al.)**



3.2 Action of water

The air dampness of a glasshouse is related to the ground dampness of the same, though they often happen to be regulated more or less independently from each other. Anyway it proves difficult to determine which of those two conditions the reaction of the plant.

We make it ours and get it serve our needs a graph (conceived by BOUCHET and al. - Versailles) which is a wealth of information: as soon as the water demand of the climate (E.T.P. ?) exceeds the offer from the plant, there occurs a *stomatic regulation* which prevents any gaseous exchange between the plant and the exterior. For the climatologist the glasshouse is liable - as a windbreak - to cut down demand (⇓);

but for the biologist it is possible to increase the offer from the plant (↑).

This graph - of prime importance to the technician - makes it easier to understand the hows and whys of many a technique, generally - but imperfectly - used in glasshouses such as container cultivation, shading, air and/or ground heating, leaf cooling, airing...

3.2.1 Water requirements in greenhouses

A French estimate, which has become famous for long, relates the quantity of water a crop needs to the *global sun radiation* received under shelter. It is:

$$E\ T\ P_s = 0{,}01\ Rg_s$$

in which, under the conditions prevailing in the South of France:
$E\ T\ P_s$ = potential evapotranspiration in a glasshouse (in mn/day);
Rg_s = global sun radiation in a glasshouse (in cal/cm^2).

Of course, simplified in this way, the relation seems to lack precision, but it gives a valuation that applies to various types of crops at various periods of the year.

Consequently the importance of watering is determined after calculation of the global radiation a glasshouse has received since the previous water supply; besides the characteristics of water retention of a soil enable to determine the most economical water supply, hence, the frequency of irrigations. Finally, a warning system may work from a research Station or an extension Service provided with a solarimetric battery.

The absolute water requirement of a plant is the *"transpiration ratio"* (T.R.) i.e. the weight ratio between the water absorbed (and transpired afterwards) and the dry matter built. (This

notion is a rather old but interesting one). The *tomato* T.R. goes from 300 in the open air to 450 in heated greenhouses, the *potato* one is 600, the *pea* one 800 and the *marrow* one 850.

3.2.2 Water absorption by the roots

There exist in literature various graphs to characterize the phenomenon of water absorption by the roots of various plants as a result of the ground T°.

They are all represented by a probability curve that shows that most plants absorb quite actively from under 15° C and that, beyond 30° C of ground T°, absorption decreases rapidly.

Characteristically speaking, this curve compares with the one that shows the growth of plants depending on the ground or air T° (cf paragraph 3.4).

Figure 4

Water absorption by the roots as a result of the ground T°.

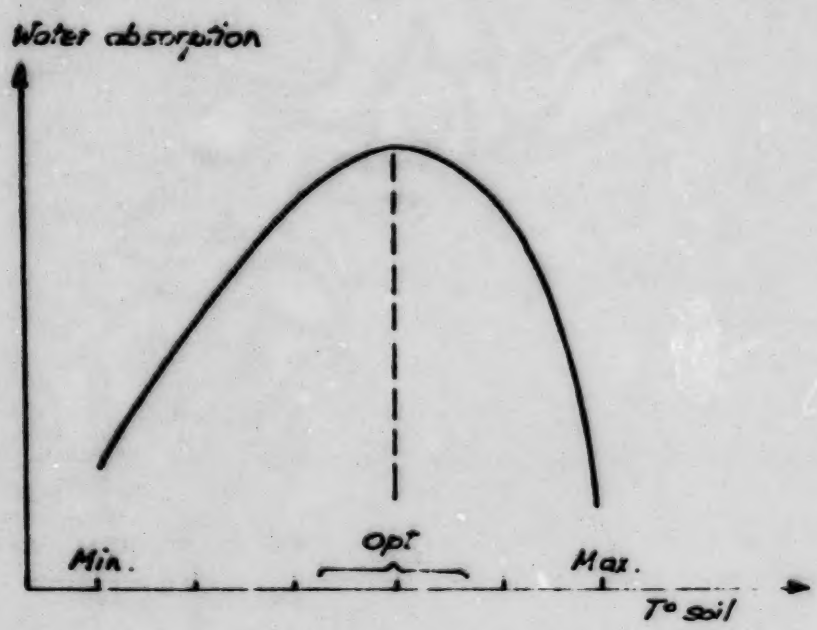
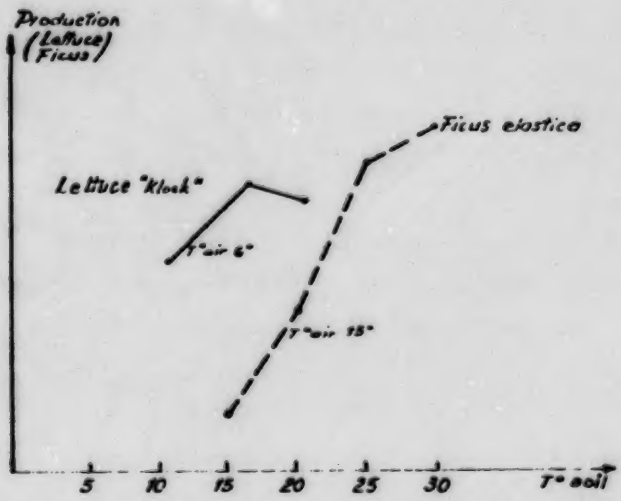


Figure 5

Influence of ground T° on growth of Lettuce and Ficus.



The desire to reduce the heating costs in greenhouses has pushed the growers to consider *ground heating* as a partial substitute for air heating and some researches have shown how interesting it is to increase the ground T° (figure 5).

Experiments conducted in our Department have proved that *Lettuce* as well as *Ficus* can benefit from winter increase of the ground T° up to levels superior to the ones of air T°.

Consequently the ground heating can act - at least partly - as a substitute for air heating.

This more often than not is likely to help reduce considerably fuel consumption.

Moreover, in the case of spring cultivation of tender vegetables (e.g. *Lettuce*) such increase in T° may help to avoid the edges

(margins) of the leaves getting brown through a fast increase in insolation, so long as it is applied with discrimination and does not lead to lower quality. Where the ground was heated, the *Ficus* was observed to grow more regularly, hence developing larger leaves throughout winter.

It must not be forgotten that the plants grown in glasshouses have definitely a weaker root system than the ones grown in the open air: the *"air system/root system" ratio* of *cucumber*, which ranges about 10 a few days after being planted reaches the astonishing value of 100 three months later !

3.2.3 Condensation within a glasshouse

Water condensation within a glasshouse is a phenomenon which is generally badly known not only as regards the physical conditions under which it occurs but also as regards its consequences on the crops.

a) Where does condensation appear ?

It appears on a body ("internal" side of covering material or plant) when the T° of such body equals the dew-point for the ambient conditions.

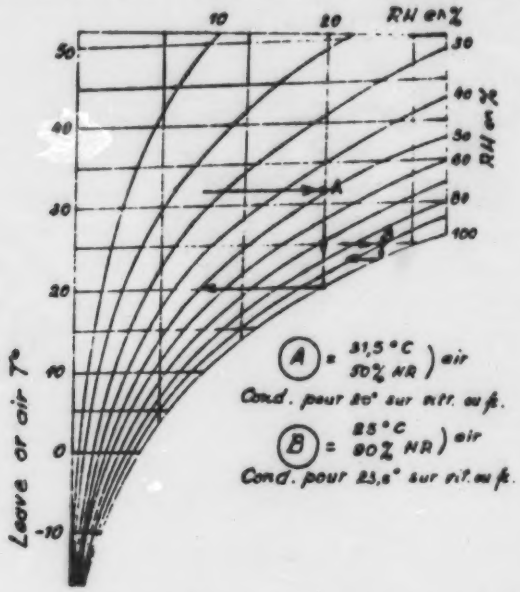
The problem is well explained through this simplified version of Mollier's graph. (Shown on following page.)

We consider the case in which the variations of relative humidity air depend on nothing but on the T° within the greenhouse (no water supply, no exhaustion of damp air).

In this way, for 31,5° C and 50 % of Relative Humidity in a glasshouse (case Ⓐ figure 6) condensation appears on the glazing when the T° of its "internal" side (facing the glasshouse) is 20° (this corresponds to an exterior T° of about 16° C: cf. figure 7).

Figure 6

Simplified version of Mollier's graph showing how the dew-point has been observed (on the internal side of glazing or on a plant).



Case Ⓑ (25° C and 90 % of Relative Humidity within the glasshouse) shows that condensation appears on a plant when its T° is only 1,5° lower than the air T° (i.e. 23,5° C) - which is far from representing an exceptional situation.

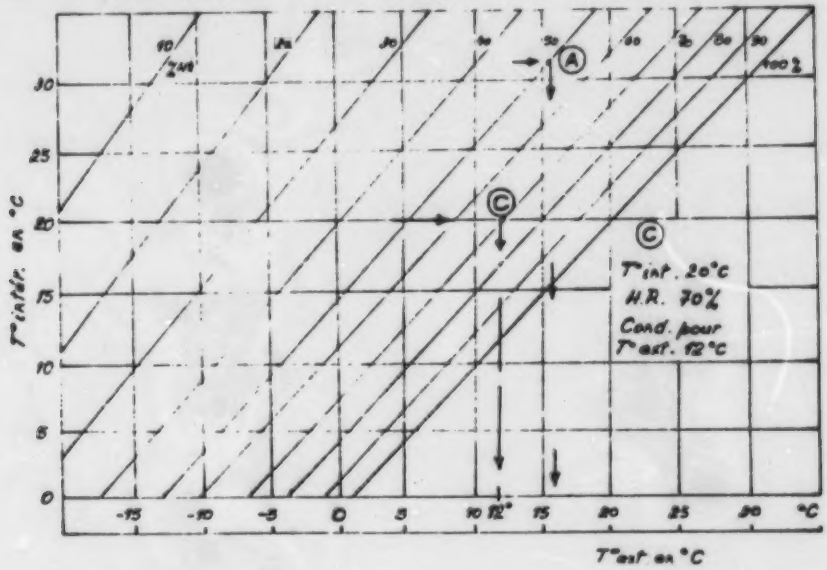
Yet a better illustration of the phenomenon appears on the graph of figure 7 which enables the determination of the T° of the exterior air responsible for the condensation on the glazing (single glass or plastic film).

In case Ⓒ (T° = 20° C - Relative Humidity 70 %) for "average" conditions, condensation appears on glazing when the exterior T° is below 12° C.

Finally, it must be kept in mind that in the early morning, the warming of a fleshy fruit through radiation is slower than the

Figure 7

Exterior T° of the air that causes - in connection with the interior conditions of the greenhouse - condensation on the internal side of the glazing (glass or plastic film).



warming of air. It may be covered with condensation all the time it has a temperature inferior to the air T° what leads to "cold strips" in the case of cucumbers and of botrytis in the case of tomatoes.

b) <u>What happens to the condensation on the glazing</u> ?

When the conditions which favour the appearing of dew-point are reached, the condensation occurs differently, depending on the nature of the glazing; it is:

- either a *very thin and continuous film* - as under glass - the water being drained away if the pitch of the cover is enough;
- or *individual droplets* the size of which grows with the surface-tension of the glazing (e.g. plastic films). Such droplets grow in size and then fall down just under the point where they have developed.

Plastics drip quite a lot, which raises the inside Relative Humidity (indeed, contrary to glass, plastics do not provide out-going slipping) and risk causing cryptogamic diseases on the plants that are kept too humid.

With glass, water slides down along the material till the glazing laths or framework parts from where it falls down. This is true mainly for double glazing, i.e. when the side facing the glasshouse is warmer than the framework parts that are not insulating enough. Mechanical damages on plants may then occur.

3.2.4 Evaporation of plants and air humidity

Few theories explain the relation between air dampness and photosynthesis clearly. There even remain doubts as to the consequences of high air dampness on the water requirements of the plants. Indeed, if they take less water for the self-regulation of their T°, they consequently absorb less mineral salts.

Plants that grow in a saturated (or quasi-saturated) atmosphere do not seem to be weaker than plants that live in conditions nearing the "optimum" ones.

Water in the ground and water in the air are closely related to each other both from the point of view of climate within the greenhouse and of physiology of the plant; besides the water contained in the air determines to a certain extent the evaporation and evapotranspiration of the plants. Finally, water is the prime factor acting in the regulation of the T° of plants.

The "Offer from the plant-water requirement of the climate" graph may be interpreted both from the point of view of water in the ground and water in the air.

Figure 3 shows that a lack of water in the air leads to a demand from the "climate" that may exceed the offer from the plant, hence causing a closing down of the stomates.

There are various ways to express how rich (or how poor) air is in water, hence the atmospheric water needs of plants:

- the *absolute humidity* of air (A.H.) is the quantity of water steam it contains;
- the *relative humidity* of air (R.H.) is the ratio between the quantity of water it contains per unit of volume and the maximal quantity of water steam it can contain at the same temperature (= when saturated). It varies in inverse function to the T° of the glasshouse;
- the *saturation shortage* (S.S.) is the difference between the true water-content of the air and its content when saturated;
- the *vapour pressure shortage* (V.P.S.) is the difference between the vapour pressure within the considered mass of air and the saturating vapour pressure.

The speed of evaporation of plants is determined by V.P.S. For example, it is interesting to note that at 20° and for 60 % of R.H., evaporation will be twice as quick as it is at 20° and for 80 % of R.H. (V.P.S. 7,02 mm and 3,51 mm).

In a similar way, if for a R.H. of 60 % for example, S.S. remains equal at 20° and 30°, the evaporation speed will be multiplied by three at 30° because V.P.S. has practically trebled.

All these physical considerations picture for us the conditions the plants live under, hence the relationship between hydric balance in the glasshouse and photosynthesis of the plants.

3.2.5 How to cool the air of the glasshouse without drying it ?
Since over-insolation leads to too important a rise in T° of the air in the glasshouse and of the plant, hence to an excessive hydric stress of the latter, *human intervention* is necessary when the weather is too sunny.

Shading is naturally first to come to the mind. But it will be seen further that it is a makeshift as it reduces photosynthesis too drastically.

Other techniques may be considered:
The supply of outside air may help to improve the thermal balance of the plant if... it is fresher and damper than the one inside the glasshouse.

The supply of dry air increases further the plant E.T.P. and often acts as an important limit to the plant activity, to say nothing of the risks to lower quality.

The so-called *"cooling"* technique consisting in cooling the outside air while damping it ("pad and fan system") is not commonly used in Europe. Indeed, it entails relatively cool but above all dry exterior air and short distance between "pad" and "fan". In maritime climate the results are disappointing even if they are excellent in continental climate.

Leaf cooling consists in spraying very tiny droplets of water on the upper part of the plants. To a certain extent such spraying reduces both the evaporation and the very temperature of the plants from which it borrows the latent spraying heat of the water that evaporates.

In spite of its limit, it is a first step towards rationalization of T° regulation within glasshouses as was demonstrated by Prof.

KLOUGART of the Copenhagen University of Agriculture. The table below shows the results he obtained in his research despite maritime climate.

TABLE 1 *Dry matter output of some plants* (April-May, in Copenhagen) *that* (under over-insolation) *underwent three treatments at 21°, 24° and 27° C successively*

21° C 24° C 27° C	Ventilation Shading Leaf cooling	Leaf cooling Shading Ventilation	Leaf cooling Ventilation Shading
Ficus	92	100	90
Cissus	47	100	66
Poinsettia	79	100	87
Hibiscus	76	100	93
Rose	83	100	68
Chrysanthemum	83	100	104
Pot plants	74	100	81

The conclusions of this experiment - confirmed by many others - leave no doubt: *leaf cooling* is the first technique which must be considered in order to reduce the drawbacks of over-insolation, hence of the excess of T° in the glasshouse. If the T° in the greenhouse goes on rising, *shading* is better than ventilation, in order to avoid hydric stress...

3.3 Action of the Light

The light factor is so important in our climates for cultivations in glasshouses carried out in winter that we devote it a special study which is however far from presenting all the fundamental elements it would be good to keep in mind.

Let us limit ourselves to remark here that, in a more or less well maintained ordinary greenhouse, different light losses are observed. Their order of magnitude is given below (in % of the incident insolation):

- 15 % through reflection of the covering material;
- 25 % through absorption by the covering material and its dirtiness;
- 10 % through absorption by the opaque parts of the frame.

If the fraction of the incident insolation which falls upon the ground is estimated to average 20 % (this radiation is practically not reflected towards the leaves, unless a reflecting mulch is used) the leaf itself finally receives only about 30 % of the incident energy !

How does it use it ?
The following table is so meaningful that we find it useless to comment on it.

TABLE 2 *Transmission* (T), *reflection* (R) *and absorption* (A) *of the light as a function of the wave-length of the radiation received, for Lactuca and Brassica* (RABIDEAU)

Wave-length	"Colour" of the light	Lactuca			Brassica		
		T	R	A	T	R	A
450 mm	blue	1	17	82	6	14	80
550 mm	yellow	25	35	40	20	30	50
650 mm	red	2	18	80	6	13	81

3.4 Action of the Temperature

The curve which represents the reaction of photosynthesis in function of the (air) T^{o} is naturally enough a "probability" one with this particularity, often met with in plant physiology, that, beyond the maximum relevant to an optimal T^{o}, the curve decreases more quickly

than it has increased to reach that apex (third degree curve).

That curve looks like that of figure 4 which shows the absorption of water by roots as a function of the ground T°. It is to be noted that the two phenomena (on the one hand, photosynthesis and air T° and on the other hand, water absorption and ground T°) are intimately connected. This is even truer that T° does not influence the primary photochemical reaction of the chlorophyllian assimilation but affects all other reactions which lead to the building of organic matters and which are catalyzed by enzymes.

The optimal T° will be even higher that the other factors of the climate - among them, water - will themselves be close to their optimal level (cf. interest of leaf cooling).

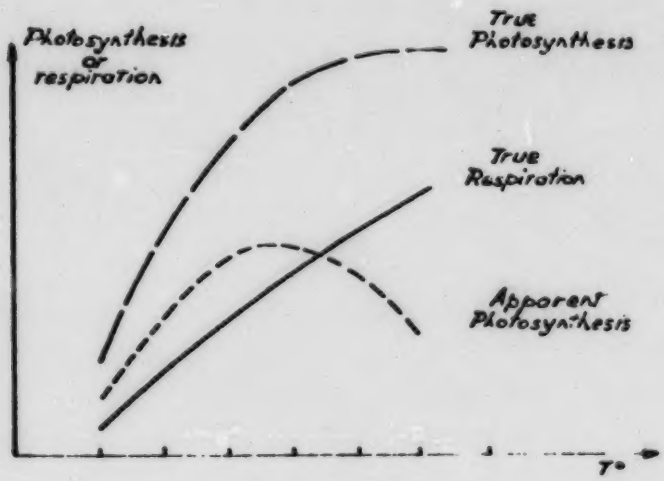
In a glasshouse, leaves which are rather thick rarely have the same T° as the ambient air: when insolation is high, their T° can be definitely superior (+ 10° C); for a high night radiation (under plastic film... for example !) their T° can be well lower (-5° C). The maximum T° of a leaf also corresponds directly to the water amount it can evaporate. The consequences of this observation are immediate.

We feel it good to complete figure 4 by another one which gives more information about the reaction of the elements of the production of dry matter (apparent photosynthesis, respiration and true photosynthesis).

It is interesting to note that the increase of the photosynthesis speed at high T° (as determined by gaseous exchanges) is often masked by a greater speed of respiration. For many plants, the latter is practically proportional to T°.

Figure 8

Action of T° upon true photosynthesis, true respiration and apparent photosynthesis (true photosynthesis minus respiration).



Orders of magnitude are given in literature, for the cultivation of *Cucumber in a glasshouse*. The respiration of this plant is multiplied by 6 between 15° C and 40° C. Its apparent photosynthesis reaches its maximum level at about 25° C. From 35° C on, it is practically zero, as the true production of dry matter is about the same as the consumption of the latter by respiration. At 40° C, the true photosynthesis is only 3/4 of the respiration, which corresponds to a loss of fresh substance by the plant !

3.5 Light/Temperature ratio

The light/T° interaction upon the production of plants is, in our opinion, best underlined by the drawing of *"heliothermal"* diagrams which enable to compare on the one hand the evolution of the monthly average T° and on the other hand that of the corresponding monthly insolations expressed either as energy received or durations of insolation (cf. figures 8 and 9 of the "Lighting of Protected Cultivations").

First it can be seen that the variations of the monthly average T^o of a region are parallel to those of the true insolation of the same, but that there is a shift in time between the two curves.

A same insolation, at the equinoxes, corresponds in spring to a T^o fairly lower than in autumn. And this observation controls many of the techniques of glasshouse uses.

In March, the greenhouse raises the T^o, which is not sufficient to enable an optimal growth of the plants. The loss of light that it causes has generally no harmful effects, the more that it is simple to fit the glasshouse T^o to the recorded light level (heat less !).

In autumn, on the contrary, a reduction of the available light and the simultaneous increase of the average T^o - because of the use of a shelter - put out of balance the light/T^o ratio. The plants risk being impaired as it is difficult to decrease the greenhouse T^o as much as the low luminosity available would require it without causing hydric stress.

Under our climates, in glasshouses, the *Lettuce* exhibits, in autumn, too luxuriant a vegetation and the heart is less firm; the *Tomato* sees its vegetative growth reduced and still worse, its fertility (flower abortion); the *Cucumber* resists better than the Tomato to the lack of light but may suffer from a relative excess of heat; the *Melon* also sees its fertility reduced while the *Bean* starves and does not much blossom; the *Rose* may lose its leaves and even change colour; and the *Carnation* grows thin floral stalks of poor quality.

The autumnal cultivations under glasshouse require actual professional skill from the horticulturist...!

3.6 Glasshouse climate and elaborated substances

We have seen in the introduction that the chemical equilibrium which

the photosynthesis forms also implies:

- on the one hand, that the elaborated substances may leave the field of reaction (O_2 and glucides); and
- on the other hand, that the gaseous exchanges between plant and ambient atmosphere are possible.

Some more words about these topics are certainly worthwhile.

3.6.1 Formation of elaborated substances (= gaseous exchanges)

It is known
- that stomates are mainly located on the bottom side of the leaf;
- that when open, they represent about 3 % of the area of that leaf;
- but that their "efficiency" can be such that it compares to that of a half "open" leaf.

The "sine qua non" condition for the gaseous exchanges plant/ambient air to occur is that *the stomates are open*.

It is also known that:

- stomates open under the action of light;
- they close partly when the CO_2 concentration of the air is higher than about 0,1 %;
- they close more fully: by lack of water and by excessive T^o ($T^o \geqslant 30^o$ C)...

The consequences of these phenomena are immediate.

As an indication, let us also say that:

- when the stomates are closed, the evaporation capability of the leaf levels at 1 to 5 % of its maximum value;
- when they are open at 25 %, this evaporation capability reaches 70 % of the maximum;
- when they are fully open, the so-called capability of course reaches 100 % but represents 50 % of that of a

free water surface or of wet paper (cf. above).

At last, let us not forget that the gaseous exchanges imply a sufficient renewal of the gaseous atmosphere in the vicinity of stomates.

3.6.2 Transport of elaborated substances

WENT has shown that, for the Tomato, the "sucrose" concentration of the leaves increases during the day in a "sigmoïd" way: at 8 a.m. in June, it is about 1 %; at 12, it reaches 3 % but at 4 p.m., it does not exceed 4 %; it means that a certain "bottle-neck" is observed after some hours of photosynthesis; the activity of the latter decreasing when the leaves are saturated.

On the other hand, the same observes that, during the night, the author main part of that sucrose vanishes from the leaf, both by respiration and translocation and that the respiration of a *Tomato* leaf is felt to consume, on the average, during the night, less than 10 % of the Carbohydrates formed during the previous day. Moreover, he has proved that this migration reaches its maximum rate at about 10° C; afterwards, this rate decreases proportionally to the increase in T°: for the *Tomato*, at 25° C, it reaches only the 1/4 of what it is at 10° C...

We feel this can be a second explanation to the phenomenon called "daily rhythmed thermoperiodicity" (or need for night "cold") of the *Tomato*, the first explanation being the influence exerted by the alternance of hight and low T° upon the birth of flowers.

If the night has been very long (16 hours) and the translocation efficient, the "sucrose"-content of the *Tomato* leaves can be so low that it limits the reduction rate of the CO_2 and that the latter cannot occur at its optimal rate until the sugar concentration of the leaves has increased sufficiently: in the

morning and precisely in winter, the plant "loses" thus a couple of hours before efficiently photosynthetizing.

The prevailing night transfer of elaborated substances made already SACHS (1872) say that, for many plants, the growth mainly occurs during the night and WENT (1957) wrote that the night T^{o} was determining for the growth. That is the reason why he drafted graphs comparing the night T^{o} in various regions.

Therefore, it is easy to understand that when the insolation is high and the night is warm, the transfer of carbonated substances may lag behind their formation and that, because of a bottle-neck in the tissues, a slowing down of the chemical process of the synthesis occurs. Therefore, the agronomist's interest is not in the instantaneous phenomenon of photosynthesis but in the phenomenon of the production of dry matter at plant level, implying sufficient time intervals.

The producers of *strawberry* plants who keep an eye on their cultivations have certainly noted that during the day the leaves of their plants become darker and darker as the glucides accumulate and that, the following morning, if the T^{o} has been neither too high nor too low during the night, they have again their delicate green colour, as the migration of the sugars has taken place... But the same producers also know that the dark coloration of the leaves appears earlier in the day when the climatic conditions are more favourable to photosynthesis; hence the risk of the prementioned "bottle-neck" and of a "bad use" by the plant of the light available.

On the other hand, when the other factors of the climate are optimal, it is better for the plant to have at its disposal a lighting of middle but regular intensity during a longer time than to receive the same global energy ("light sum" !) within a

short time due to too intense a radiation; the latter is badly used by the plant (cf. "water demand and offer", figure 3, paragraph 3.2.1).

The research in order to improve the design and the orientation of a greenhouse must tend - within the boundaries of the feasible - to limit the light losses from October to March in the morning and in the evening and not at noon as it is most frequently done. On the contrary, some reduction of the meridian insolation, even in winter, may prove to favour the uniformity and the efficiency of photosynthesis.

3.7 Remark (T^{o} and Snow-falls)

A simple and practical characterization of a region concerning the possibilities for protected cultivation in winter is thus to be based principaly on the establishment of heliothermal diagrams, more especially as the mean T^{o} used allows in addition to reach an estimation of the heating costs to be foreseen (degrees.days).

Moreover, in the case of a "cold" region, it is necessary to take into consideration the minima of temperature.

But it appears too very important to take into account, in such regions, the problem of the snow-falls, especially because "brusque" and heavy falls (25 to 30 cm in one night) generate problems for the building of greenhouses and for fast elimination of quantities (sometimes very important ones) that amassed on the shelter, mainly in gutters (joined-bay glasshouses) (see table N^{o} 5).

Finally, the warming up of temperatures in February (March) is not to be ignored; so, even incomplete meteorological data show that the coming back of milder temperatures is faster in Montreal and above all in Toronto than in Ottawa and Quebec... This, as insolation is practically identical during the same month in the four regions,

explains why there is such a keen interest in the building of glasshouses over there.

On the basis of these simple data, it is possible to say that the profitable areas of cultivation under shelter at the beginning of the year seem to be restricted in Canada to the 4 or maybe 5 towns mentioned in the table 5.

Thus, it is possible to observe that the Canadian climate differs quite a lot from the Western European one (mainly T°). Though Belgium, the Netherlands and Northern France have a poorer insolation, their thermal balance is much more favourable. The snow-falls are still very heavy in February and even in April in the Canadian regions listed in the table but in Belgium, the Netherlands and Northern France they are reduced and on the French Riviera and Southern Spain they are practically unknown.

4 *Conclusions*

4.1 Theoretical point of view

The mere fact of building a shelter i.e. of interposing a covering material between the natural climate of a region and the plants to be grown is not sufficient to generate a "derived" climate which corresponds spontaneously to the requirements of these plants whatever the care taken for selecting the material used.

First, because the requirements of the plants definitely vary with time and consequently an "optimal production" would mean a constant adaptation of the climatic conditions to meet such intantaneous requirements.

Then, because the climate of the region also varies continuously and therefore the same construction has to be able to transform quite different external climatic conditions into others having many

points in common (qualitatively speaking) but likely to be "finicked" to meet, all year round, the quantitatively different desiderata of the plants (they are still very badly defined at the varietal level).

And last, because the primary spontaneous climate generated by the shelter is of the arid type: important variations of T^{o}, no precipitations !

Thus the glasshouse is a tool which enables to generation, at will, of various climates. Nevertheless, it must be kept in mind that any human action is expensive simply because of the investments it entails, which grow exponentially with the degree of sophistication required. The most efficient and the least expensive investment remains a good covering of the glasshouse designed in materials photometrically and thermally fitted to the characteristics of the climate of the region.

There is an important margin between two choices: *on the one hand*, a simple and cheap shelter where the human intervention is minimum but which nevertheless meets, to a reasonable extent, the plant requirements and *on the other hand*, a phytotron-glasshouse where every factor of the climate can be maintained to its "optimal" value, (automatically but at large expense).

A compromise must be reached ultimately between the simple shelter and the sophisticated glasshouse. This equilibrium is based on the financial profitability of the investments made. All things considered, it is the *economic aspect of the problem* that will have to prevail.

4.2 Practical point of view

Technically speaking it is important to keep at an optimal level, during the longest possible time, the four interdependent factors of the climate (light, t^{o}, water and CO_2).

This is mainly achieved by trying to:

4.2.1 . build the *most "luminous" possible glasshouses* by giving them a shape and an orientation resulting from the local conditions;

. select the *covering material* which fits best the region;

. *adapt shading to the true needs* i.e. to the excess of insolation recorded;

4.2.2 . consider the *plant* T^o and not the T^o of the glasshouse air;

. *avoid* any inopportune T^o *rise* of the plants (leaf cooling !);

. search for a *night* T^o which makes it possible:

. to meet the thermoperiodical needs of the plants;

. for the elaborated substances, to migrate in the best conditions;

. to avoid condensation on the leaves;

. reach an *optimal* T^o *at the root* level through:

. ground heating (even as a partial substitute for air heating);

. container or N F T (Nutrient Film Technique) cultivation;

4.2.3 . keep *high* but not excessive *air hygrometry;*

. *water the plants continuously* and perfectly (localized irrigation);

4.2.4 . consider CO_2 *fertilisation* at least during the morning;

4.2.5 . *decrease the control* T^o of the glasshouse:

. when the sky is cloudy or dark;

. when the materials used have a low light transmission;

4.2.6 . *ventilate under the wind* and not on the wind - side (avoid contacts of the plant with dry and cool air);

. *leaf cool,* then *shade,* and finally *ventilate;*

4.2.7 . build shelters with an *important thermal inertia* (4 to 5 m^3 of air/m^2 on the ground); this enables:

- to achieve a more favourable winter luminous balance;
- to lengthen the work in confined atmosphere.

TABLE 3 *Evolution of* (minimum and mean) *temperatures, of insolation and of snow-falls during the first months of the year in some regions* (Canada and W-Europe)

	FEBRUARY				MARCH				APRIL			
After Landsberg	Min. T° (C°)	Mean T° (C°)	Insolation (h)	Snow-falls (mm)	Min. T° (C°)	Mean T° (C°)	Insolation (h)	Snow-falls (mm)	Min. T° (C°)	Mean T° (C°)	Insolation (h)	Snow-falls (mm)
Québec	-32	-10,7	102	701	-29	-4,9	128	450	-18	+3,2	157	147
Montréal	-34	- 7,8	103	597	-27	-2,1	140	472	-14	+6,2	154	112
Ottawa	-36	- 9,8	110	488	-31	-3,6	140	409	-14	+5,3	168	81
Toronto	-29	- 3,8	105	335	-21	+0,2	139	354	-12	+7,0	170	71
Halifax	-24	- 3,6	117	480	-19	-0,1	144	351	-11	+4,8	162	117
Winnipeg*	-45	-15,5	133	201	-39	-7,9	167	206	-30	+3,3	207	99
Edmonton*	-46	-11,6	119	193	-36	-5,5	163	198	-25	+4,2	221	152
Lethbridge	-42	- 7,1	126	264	-38	-2,4	162	249	-25	+5,4	210	173
Vancouver	-16	+ 4,1	89	112	- 9	+6,2	124	38	- 3	+9,1	195	0
De Belt (NL)	-21	+ 2,0	69	?	-12	+5,0	127	?	- 6	+8,5	164	-
Brussels (B)	-17	+ 2,6	77	?	- 9	+6,0	119	?	- 4	+9,2	158	-
Nantes (F)	-16	+ 5,3	94	?	- 6	+8,4	151	?	- 1	+10,8	203	-
Nice (F)	- 5	+ 8,5	165	?	- 2	+10,8	196	?	+ 3	+13,3	243	-
Barcelona (E)	- 7	+ 9,9	164	-	+ 1	+12,3	175	-	+ 4	+14,6	213	-
Almeria (E)	0	+11,8	190	-	+ 3	+14,1	227	-	+16	+16,1	260	-
Lisboa (P)	- 1	+11,6	182	-	+ 3	+13,6	206	-	+ 4	+15,6	265	-

N.B. (*) = snow-falls even in May.

(?) = no statistics at our disposal.

Production végétale et climat de la serre

André Nisen

Agronome éco-climatologiste
Faculté agronomique de l'État
Belgique

1 *Introduction*

Il nous a été demandé de traiter: "la photosynthèse et le climat en serre". Le mot photosynthèse évoque trop nettement un aspect physiologique, théorique, du problème de la production de végétaux sous abris. Aussi, lui préférons-nous l'expression *"production végétale"* qui apparaît comme plus immédiate, plus pratique, et pour tout dire mieux de notre compétence d'agronome éco-climatologiste.

Nous allons tenter d'aborder le sujet sous un angle plus pratique, sans chercher à faire état de la dernière découverte en la matière, mais en nous basant davantage sur notre expérience et sur une vue personnelle du problème; plus qu'une photosynthèse instantanée - et souvent peu durable - nous préférons considérer une "production" végétale échelonnée sur un temps plus long et possédant une signification agronomique réelle.

Il est de tradition de schématiser le phénomène de la photosynthèse de la façon suivante:

$$n\,CO_2 + 2n\,H_2O \xrightarrow[\text{chlorophylle}]{+\,h\nu\ (lum)} n\,CH_2O + n\,H_2O + n\,O_2$$

Le phénomène inverse représente, chacun le sait, la respiration.

Les facteurs climatologiques qui interviennent au niveau de cette assimilation, effectuée au niveau de la chlorophylle, sont le CO_2, l'H_2O, l'énergie lumineuse et la "chaleur".

Pour que cet équilibre chimique se réalise, il faut, en outre:

- que des échanges gazeux (via les stomates) puissent avoir lieu (pénétration du CO_2, élimination d'O_2...);
- que les substances élaborées migrent à une vitesse suffisante. C'est ce double aspect que nous abordons au paragraphe 3.6.

La production nette est naturellement la différence entre la production brute (photosynthèse totale) et la respiration.

Examinons donc chacun des facteurs qui conditionnent la photosynthèse, mais faisons-le, comme dit plus haut, sous l'angle de la plante dans son ensemble (et non de la cellule), de la production à moyen terme (et non instantanée) et du climat de la serre (et non de la physiologie pure).

2 *La plante et la production végétale*

2.1 La plante, 1er facteur du climat de la serre

Du point de vue pratique, le premier facteur à considérer est évidemment le *végétal* lui-même.

L'agriculteur cherche à faire croître, avec les meilleurs rendements qualitatifs et quantitatifs, des végétaux déterminés, présentant une valeur commerciale certaine. Il ne tente donc pas d'atteindre les taux de production de matière fraîche ou sèche les plus élevés qui soient, c'est-à-dire de battre un record olympique de synthèse chlorophyllienne.

Nous éviterons donc d'aborder ici le problème des plantes en C_4 ou en C_5, puisque aussi bien aucune de celles-ci, à notre connaissance et dans les conditions actuelles, n'a intérêt à être cultivée en serre dans nos climats.

Un des facteurs limitants de la performance de l'agriculteur est donc la plante elle-même. Cependant, on peut trouver, avons-nous l'habitude de dire, une *réponse variétale* à bien des problèmes; en d'autres termes, il existe des variétés d'une même espèce qui atteignent des rendements supérieurs à d'autres dans des conditions éco-climatologiques données. Ou encore, s'il est indispensable de tenter de créer sous serre le meilleur climat, dans l'absolu, il faut aussi choisir les espèces et les variétés cultivées en fonction des facteurs limitants de ce climat.

2.2 Expression des caractères propres à la plante

Depuis la crise de l'énergie, le facteur principal du climat de la serre est la température et non plus la lumière. Des études de plus en plus nombreuses sont faites pour sélectionner des variétés peu exigeantes en chaleur (et accessoirement en lumière), ou tout au moins, étant donné le contexte énergétique de l'heure, pour préciser les seuils thermiques (diurnes et nocturnes) qui caractérisent les plantes cultivées.

A ce niveau, il est fait actuellement un large usage de la vieille notion déjà utilisée par REAUMUR (± 1 750 !) de *"sommes de température"* ("degrés.jours" ou "degrés.heures") qui constituent la matérialisation des exigences en chaleur des végétaux cultivés $[Q = (T_1 - T_s).t]$: pour passer d'un stade de croissance ou de développement à un autre, la plante a besoin d'un capital chaleur (compté à partir d'un seuil physiologique "s"); elle mettra un temps "t" d'autant plus long pour parcourir cette étape que la température active "T_i" enregistrée aura été peu différente de celle "T_s" constituant son seuil de réaction.

Il importe donc, en premier lieu, et dans les conditions actuelles de choisir des plantes "peu exigeantes" en chaleur et de maintenir la T° des serres dans les limites entre lesquelles ces plantes réagissent de façon plus ou moins linéaire.

BERNINGER, notamment, admet que le zéro végétatif de beaucoup de plantes cultivées est de 5° C environ. Dans ses conditions de travail, il observe par exemple que les variétés de *rose* "SONIA" et "BELINDA" ont des exigences en T° voisines et se classent parmi les roses de serre les moins exigeantes. Elles doivent recevoir, en moyenne, pour le cycle d'une "remontée" (c'est-à-dire de la coupe d'une fleur à celle de la suivante), des sommes de T° de l'ordre de 17 000 (°C. x H). De même, un *chrysanthème* "SUPER" exige, de la plantation de la bouture racinée à la floraison, environ 28 000 (°C. x H) "net" soit 77° jours à 20° ou 117 jours à 15°C. (Les différences notées lors d'essais

successifs nous paraissent imputables à des variations dans l'insolation observée; de même, il est certainement possible d'affiner l'expression des exigences thermiques en précisant davantage le seuil (zéro végétatif) de chaque espèce et même de chaque variété: 5°C ne constituent qu'un ordre de grandeur, selon nous).

Enfin, un *glaïeul* exigeant 26 000 (°C x H) prendra, entre le 1er novembre et le mois de mars, dans les conditions de Fréjus (Côte d'Azur - F. -) 108 jours de la mise en croissance du bulbe à sa floraison si la T° est de 15° C dans la serre (10° efficaces); à 11°C (6° efficaces), limite inférieure possible, sa culture exigera 180 jours. Par contre, si l'apparition des fleurs ne demande que 72 jours à 20° (15° efficaces), il faut craindre des risques d'avortement des fleurs, ce qui réduit les conditions de T° favorables aux limites de 11 à 15° C.

Notons en outre qu'à 15° C, une telle culture consomme toujours à Fréjus, environ 55 l. de fuel FOD, mais 7 l. à 18°C pour des dates de culture allant de septembre à décembre.

Des besoins en *lumière* du même type peuvent être définis, qui matérialisent les exigences des plantes dans ce domaine.

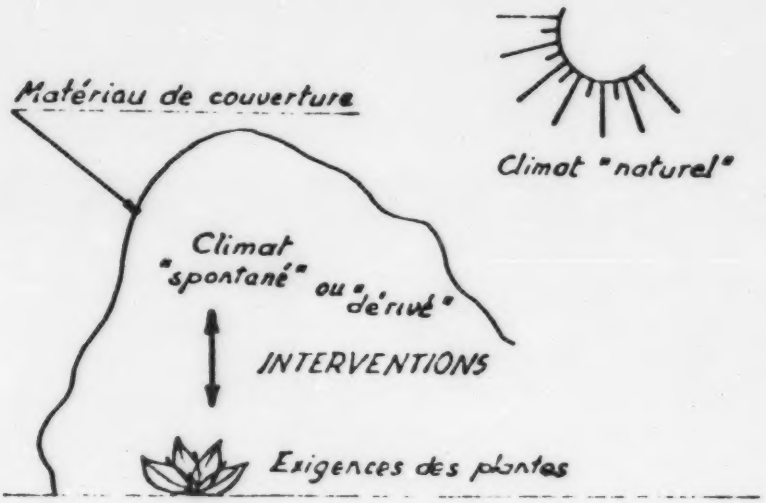
Notons d'ailleurs que l'effet de serre se manifestant essentiellement par une élévation de température, sa détermination peut être ramenée à la mesure d'une différence de T° (entre celle atteinte à l'intérieur de la serre fermée et celle observée à l'extérieur de l'enceinte) *multipliée* par le temps (en heures, par exemple) pendant lequel cette différence subsiste.

3 Le climat de la serre et la production végétale

Nous pouvons considérer l'abri (la serre) comme un *écran* placé entre le climat *naturel* d'une région et les *végétaux en culture;* cet écran modifie le climat naturel en fonction même de ses propriétés et le transforme en un *climat "dérivé"* qui naît spontanément dans la serre en fonction des caractéristiques de l'un et de l'autre.

Figure 1

Qu' est-ce qu'un abri ?



Le choix de la couverture, qui permet d'atteindre un climat "spontané" correspondant aux exigences d'une plante est donc fonction même de la région où l'abri est construit. Et, inversement, un même matériau de couverture crée des conditions de croissance sous abri qui dépendent, non seulement de ses propres caractéristiques, mais aussi de celles de la région où il est utilisé. A titre d'exemple: un double vitrage isolant (qui permet de réaliser d'importantes économies de chauffage) donne de meilleurs résultats culturaux en climat à hiver ensoleillé (faible

latitude ou région continentale) que là où le bilan lumineux est déjà défavorable.

Une comparaison des conditions de climat créées par un abri avec les exigences des végétaux cultivés (pour autant que celles-ci soient connues avec suffisamment de précision) permet de déterminer la mesure dans laquelle les *interventions humaines* sont nécessaires pour adapter le climat dérivé auxdites exigences des cultures.

Chaque facteur du climat n'agit pas seul mais en "collaboration" avec les autres; il est dangereux de vouloir envisager l'action d'un de ces facteurs isolément. Ce sera donc le plus souvent des interactions entre éléments du climat que nous proposerons.

Ceci met en évidence l'importance des caractéristiques photométriques et thermiques des matériaux de couverture que nous abordons plus en détail au chapitre "lumière".

3.1 Action du CO_2

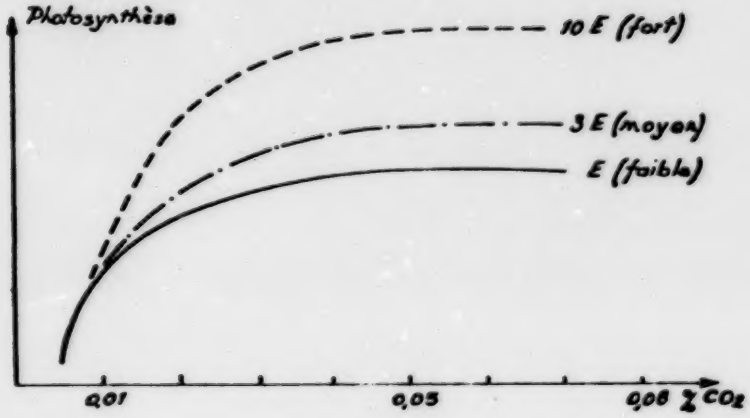
Le CO_2 se trouve à très faible concentration dans l'air (0,03 % en moyenne); au voisinage des feuilles, cette concentration n'est observée que si des mouvements d'air suffisants ont lieu.

La concentration réelle sous serre est 1 à 2 fois plus élevée le matin mais redescend rapidement au 1/3 de la valeur moyenne ci-dessus citée (à la suite de l'immobilité de l'air) c'est-à-dire au point de compensation en CO_2 (0,01 % environ).

L'activité photosynthétique de beaucoup de végétaux s'accroît avec l'insolation (E) et, simultanément, avec la richesse en CO_2 de l'air. On notera cependant, *d'une part*, le fait que, pour un niveau lumineux donné, la photosynthèse ne croît pas continuellement avec la concentration en CO_2 et, *d'autre part*, que la production de matière fraîche n'est pas proportionnelle à l'énergie solaire reçue.

Figure 2

Activité photosynthétique en fonction de la richesse en CO_2 de l'air et de l'énergie solaire disponible (E).



Une *fertilisation carbonnée* s'impose donc théoriquement dans la plupart des cultures sous abri: on admet que le gain moyen en production des plantes à la suite d'un apport de CO_2 est de l'ordre de 10 à 30 % (estimation sur la longue période).

La limite économique de l'opération est, elle, déterminée par la réaction de la culture à l'apport de CO_2: une plante à croissance végétative caractérisée réagit plus nettement qu'une dont le rendement implique un développement génératif.

Une telle pratique se généralise surtout par combustion de gaz, soit dans une chaudière générale (récupération d'une partie des gaz brûlés) soit en atmosphère confinée. Le coût des appareils de régulation automatique

fait souvent hésiter les horticulteurs européens qui travaillent alors par approximation (empiriquement).

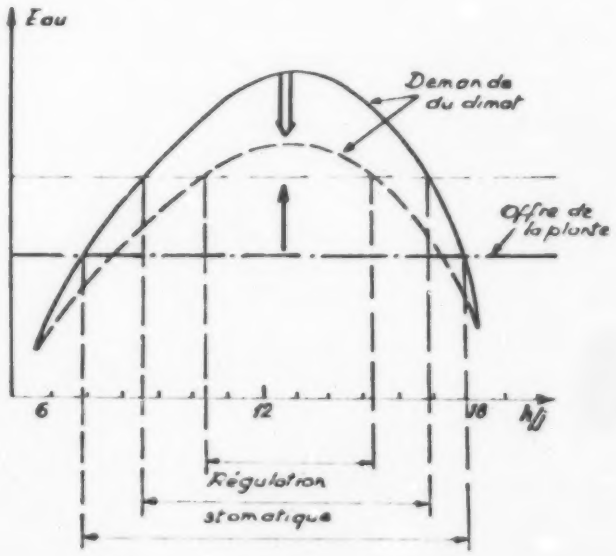
L'apport de CO_2 se justifie donc par insolation suffisante et lorsque l'on maintient les serres fermées (hiver et printemps !). Il paraît inutile en cas d'insolation faible et, à l'automne, lorsque l'aération des serres est de règle.

3.2 Action de l'eau

L'humidité de l'air d'une serre est liée à celle du sol de cet abri, encore que l'on en arrive souvent à régler l'une plus ou moins indépendamment de l'autre et qu'il soit souvent malaisé de déterminer la mesure dans laquelle c'est l'une ou l'autre qui conditionne la réaction d'une plante.

Figure 3

Relation entre offre en eau de la plante et demande en eau du climat
(d'après BOUCHET et al.)



Nous reprenons et adaptons à nos besoins un schéma (conçu par BOUCHET et al. - Versailles) qui est riche en enseignements: dès que la demande en eau du climat (E.T.P.?) dépasse l'offre de la plante, intervient la *régulation stomatique* qui bloque toute possibilité d'échanges gazeux entre plante et milieu extérieur. Le climatologiste pense surtout au fait que la serre est susceptible, en agissant comme-brise vent, de réduire la demande ↓ ; mais le biologiste montre qu'il est aussi possible d'augmenter l'offre ↑ de la plante.

Ce graphique, très important au niveau du technicien, lui permet de mieux s'expliquer le pourquoi et le comment de bien des techniques, couramment mais non parfaitement utilisées en serre, comme la culture en conteneurs, l'ombrage, le chauffage de l'air et (ou) du sol, la brumisation, l'aération.

3.2.1 Besoins en eau sous serre

Une estimation française, devenue célèbre depuis longtemps, relie l'ordre de grandeur des besoins en eau d'une culture au *rayonnement solaire global* reçu sous l'abri. Elle est du type:

$$E\,T\,P_s = 0{,}01\ Rg_s$$

Dans cette expression (valable pour les conditions du sud de la France:

$E\,T\,P_s$ = évapotranspiration potentielle sous serre (en mn/jour);

Rg_s = rayonnement solaire global sous serre (en cal/cm2).

Naturellement, sous cette forme simplifiée, la relation présente une certaine imprécision mais elle donne un ordre de grandeur valable pour divers types de culture à diverses époques de l'année.

Il suffit donc de totaliser le rayonnement global reçu sous une serre depuis le dernier apport d'eau pour déterminer l'importance d'un arrosage; d'un autre côté, les caractéristiques de rétention pour l'eau d'un sol permettent de fixer l'apport d'eau le plus

économique et, partant, la fréquence des irrigations. Enfin, un système d'avertissement peut être mis sur pied à partir d'une Station de Recherches ou de vulgarisation qui possède une pile solarimétrique.

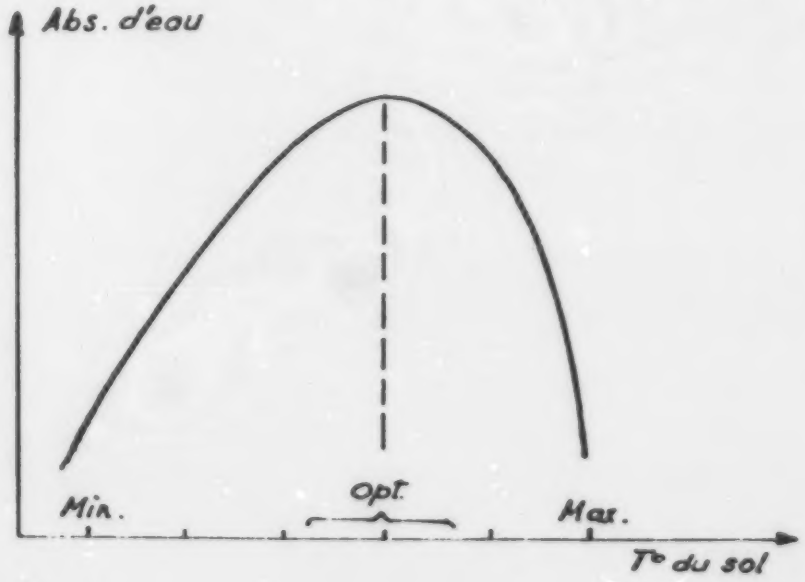
Les besoins absolus en eau d'une plante s'expriment par le "*rapport de transpiration*" (R.T.) qui précise le rapport en poids entre l'eau absorbée (puis en grande partie transpirée) et la matière sèche formée. C'est une notion assez ancienne mais intéressante. Le R.T. de la *Tomate* varie de 300 en plein air à 450 en serre chauffée, celui de la *pomme de terre* est de 600, celui du *pois*, 800 et celui des *courgettes*, 850.

3.2.2 Absorption d'eau par les racines

Divers graphiques sont donnés, dans la littérature, pour caractériser le phénomène *d'absorption d'eau par les racines* de diverses plantes en fonction de la T° du sol.

Figure 4

Absorption d'eau par les racines en fonction de la T° du sol.



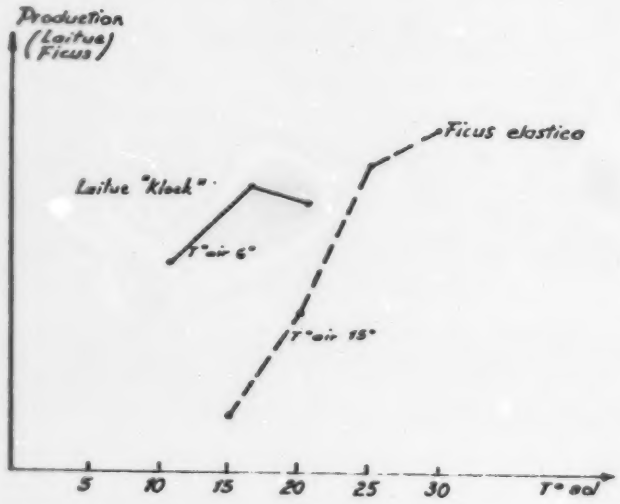
Tous se résument finalement à une courbe en cloche qui montre que la plupart des végétaux absorbent de façon assez active dès avant 15° C et que, au-delà de 30° de T° de sol, l'absorption se réduit assez rapidement.

Cette courbe se rapproche de façon très caractéristique de celle qui exprime la croissance des plantes en fonction de la T° du sol ou de l'air. (cf. paragraphe 3.4)

Le désir de réduire le coût du chauffage des serres a incité les agriculteurs à se tourner vers le *chauffage du sol* en substitution au moins partielle de celui de l'air de la serre. Et bien des résultats de recherches montrent qu'il est intéressant d'augmenter cette T° du sol (figure 5).

Figure 5

Influence de la T° du sol sur la croissance de la Laitue et du Ficus.



Des essais réalisés dans notre Service ont mis en évidence le fait que *Laitue* tout comme *Ficus* peuvent tirer profit d'une élévation hivernale de T° du sol jusqu'à des niveaux même supérieurs à ceux de la T° de l'air et que l'on peut donc substituer, en partie au moins, le chauffage du sol à celui de l'air.

Cette pratique s'avère dans bien des cas susceptible de permettre des économies appréciables.

Cette augmentation peut d'ailleurs, en culture printanière de légumes tendres (*Laitue* par exemple) contribuer à éviter qu'une brusque augmentation de l'insolation ne provoque un brunissement marginal des feuilles, pour autant qu'elle soit conduite avec discernement et permette de conserver une bonne qualité aux produits. Dans le cas des *Ficus*, nous avons observé dans les parcelles à sol chauffé une plus grande régularité de croissance donc de surface des feuilles tout au long de l'hiver.

Il ne faut pas perdre de vue que le système racinaire des plantes cultivées sous serre est très faible, et nettement inférieur à celui que l'on observe en plein champ: le rapport *"système aérien/ système radiculaire"* du *concombre*, de l'ordre de 10 environ quelques jours après la plantation, atteint après 3 mois la valeur étonnante de 100 !

3.2.3 Condensation en serre

Le phénomène de la condensation de l'eau dans les serres est généralement mal connu, non seulement en ce qui concerne les conditions physiques dans lesquelles il a lieu, mais aussi les conséquences qu'il peut avoir pour les cultures.

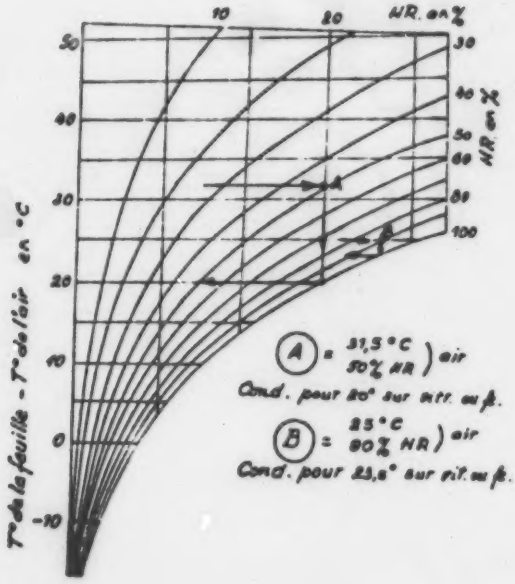
a) Apparition de condensations

La condensation apparaît sur un corps (face "intérieure" du matériau de couverture ou plante) lorsque la T° de celui-ci correspond au "point de rosée" pour les conditions ambiantes.

Un diagramme de Mollier simplifié explique bien le problème.

Figure 6

Diagramme de Mollier simplifié montrant les conditions d'observation du point de rosée (sur face intérieure d'un vitrage ou sur une plante).



Nous envisageons le cas où les variations d'humidité relative à l'air ne dépendent que de celles de la T° dans la serre (ni apport d'eau ni évacuation d'air humide).

C'est ainsi que, quand (*cas* Ⓐ figure 6) il règne 31, 5° C et 50% H R dans une serre, on observe une condensation sur le vitrage lorsque la face "intérieure" (tournée vers la serre)

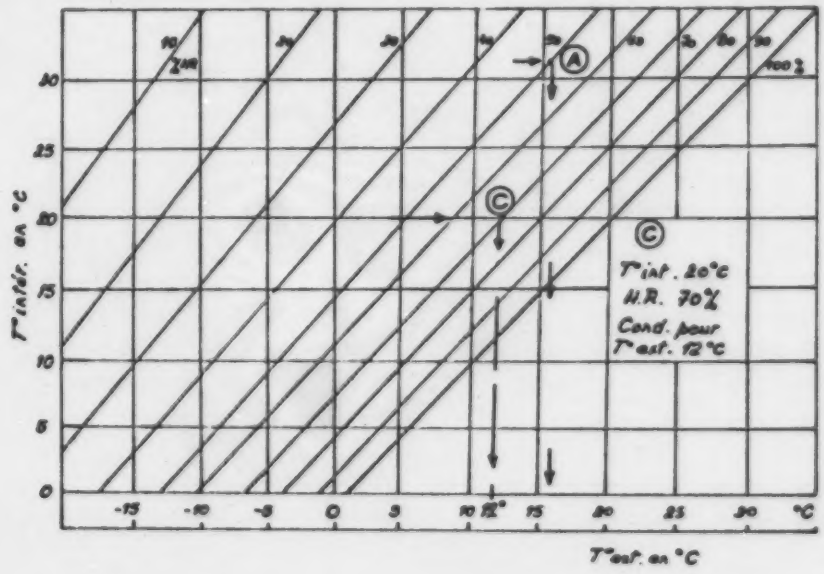
est à 20°, ce qui correspond à une T° extérieure de l'ordre de 16° C (cf. figure 7).

Le *cas* Ⓑ (25° C et 90 % H R dans la serre) montre que de la condensation apparaît sur une plante lorsque la T° de celle-ci n'est que de 1,5° C inférieure à celle de l'air (soit 23, 5° C) ce qui est loin de représenter une situation exceptionnelle.

Pour mieux illustrer encore le phénomène, nous avons établi le graphique de la figure 7 qui permet de déterminer les T° de l'air extérieur à la serre qui provoquent la condensation sur le vitrage (verre ou film plastique simple). Dans le *cas* Ⓒ (T° dans la serre 20°, H R 70 %), on observe en conditions "moyennes" de la condensation sur le vitrage dès que la T° extérieure descend sous 12° C

Figure 7

T° extérieure de l'air qui provoque, en fonction des conditions intérieures à la serre, la condensation sur la face intérieure du vitrage.



Enfin, n'oublions pas que, au cours des premières heures de la matinée, un fruit charnu s'échauffe moins vite que l'air sous l'action du rayonnement. Tant qu'il n'a pas atteint la même T° que l'air, il est sujet à des condensations, qui se traduisent chez le *concombre*, par ce que l'on appelle des "lignes de froid" et, chez la *tomate*, par l'apparition de botrytis.

b) Que devient la condensation sur le vitrage?

Selon la nature de celui-ci, une fois les conditions d'apparition du point de rosée atteintes, de la condensation se forme:

- soit en *film très mince* et *continu*, comme sous le verre, avec possibilité d'évacuation de l'eau dès que la pente du matériau est suffisante;
- soit sous l'aspect de *gouttelettes* individuelles, d'autant plus grosses que la tension superficielle du vitrage est élevée (par exemple films plastiques); ces gouttes grossissent puis tombent sous l'endroit où elles se sont formées.

Dans *le cas des plastiques*, les points de chute des gouttes sont très nombreux, ce qui élève l'H R de l'ambiance (d'autant plus qu'il n'y a pas évacuation de l'eau vers l'extérieur comme dans le cas du verre) et risque de provoquer l'apparition de maladies cryptogamiques sur les plantes maintenues trop humides.

Dans *le cas du verre*, il n'y a risque de chute d'eau qu'au droit des lattes à vitrage ou pièces de charpente, surtout lorsque le vitrage est double et, partant, que la T° de sa face dirigée vers la serre reste plus élevée que celle des pièces de charpente non assez isolantes. Des dégâts mécaniques sur les plantes peuvent alors être observés.

3.2.4 Evaporation des plantes et humidité de l'air

Peu de théories expriment de façon claire la relation entre Humidité de l'air et Phytosynthèse. Des doutes nous paraissent même persister quant aux conséquences, du point de vue absorption des sels minéraux, d'une forte humidité de l'air qui réduit les besoins en eau pour l'autorégulation de la T^{O} des plantes. Il ne semble pas que des végétaux, croissant dans une atmosphère saturée (ou presque) en eau, présentent une plus faible croissance que ceux vivant dans des conditions plus proches d'un "optimum"; mais ceci est loin d'être démontré.

Eau dans le sol et eau dans l'air sont en étroite relation, tant du point de vue climat de la serre que physiologie de la plante; en outre, l'eau de l'air détermine dans une certaine mesure l'évaporation (et l'évapotranspiration) des végétaux. Enfin, l'eau est le facteur prépondérant de la régulation de la T^{O} des plantes.

Il est possible d'interpréter le graphique "offre de la plante - demande en eau du climat" tant du point de vue eau dans le sol qu'eau dans l'air.

La figure 3 nous démontre qu'un manque d'eau dans l'air conduit à une demande du "climat" qui peut dépasser l'offre de la plante et, partant,à une fermeture des stomates.

Il existe diverses façons d'exprimer la richesse ou la pauvreté en eau de l'air et, partant, les besoins en eau atmosphérique des plantes:

- *l'humidité absolue* de l'air (H A) est la quantité de vapeur d'eau qu'il contient;
- *l'humidité relative* de l'air (H R) est le rapport de la quantité d'eau qu'il contient par unité de volume à la quantité maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir à la même température (= à saturation). Elle varie en fonction

inverse de la T° de la serre;

- *le déficit de saturation* (D S) est la différence entre la teneur en eau réelle de l'air et sa teneur à saturation;
- *le déficit de pression de vapeur* (D P V) est la différence entre la pression de vapeur dans la masse d'air considérée et la pression de vapeur saturante.

C'est le D P V qui intervient pour déterminer la vitesse de l'évaporation des plantes. Notons à titre d'exemple que, à 20° et 60° H R, l'évaporation sera 2 fois plus rapide qu'à 20° et 80 % H R (D P V 7,02 mm et 3,51 mm). De même si, à une H R de 60 % par exemple, le D S est le même à 20° et à 30° C, la vitesse d'évaporation sera presque triple à 30° parce que le D V P est, lui, pratiquement triplé.

Toutes ces considérations physiques nous permettent de nous faire une idée des conditions dans lesquelles se trouvent les plantes et, partant, de la relation entre bilan hydrique de la serre et photosynthèse des végétaux.

3.2.5 Comment refroidir l'air de la serre sans l'assécher?

Puisqu'un excès d'insolation conduit à une élévation trop importante de la T° de l'air en serre et du végétal et, partant, à un stress hydrique excessif de celui-ci, il est nécessaire d'intervenir par temps trop ensoleillé.

L'ombrage est naturellement la technique à laquelle on pense en premier lieu. Mais nous verrons plus loin qu'il ne constitue finalement qu'un pis-aller car il réduit trop nettement la photosynthèse.

D'autres techniques peuvent être envisagées: la ventilation et la brumisation.

L'apport d'air extérieur à la serre peut contribuer à améliorer le bilan thermique de la plante si cet air extérieur est plus frais et plus humide que celui de la serre.

L'apport d'air sec augmente encore l'E T P des plantes et limite souvent de façon importante l'activité du végétal, sans parler des risques d'altération de la qualité des produits qu'il occasionne.

La technique dite du *"cooling"* consistant à refroidir l'air extérieur tout en l'humidifiant ("pad and fan system") est d'utilisation limitée. En effet, elle implique que l'air extérieur soit relativement froid mais surtout sec et que la distance entre "pad" et "fan" soit réduite. En climat maritime, elle est décevante alors qu'elle peut donner d'excellents résultats en climat continental.

La *brumisation* (ou leaf cooling) consiste, elle, à pulvériser de l'eau sous forme de très fines gouttelettes sur la partie supérieure des plantes. Cette pulvérisation réduit dans une certaine mesure tant l'évaporation que la température même des plantes auxquelles elle emprunte la chaleur latente de vaporisation de l'eau qui s'évapore. Elle constitue, malgré ses limites, un premier pas vers une rationalisation de la conduite de la T^{o} dans les serres, comme l'a démontré le professeur KLOUGART de l'Université Agricole de Copenhague. Rappelons que, dans ses conditions de travail (climat maritime, pourtant !), il a obtenu notamment les résultats suivants.

TABLEAU 1 *Rendement en matière sèche de quelques cultures* (en avril mai, à Copenhague) *soumises, par insolation excessive, à trois traitements successifs réalisés aux T° de 21, 24 et 27° C*

21° C 24° C 27° C	Ventilation Ombrage Brumisation	Brumisation Ombrage Ventilation	Brumisation Ventilation Ombrage
Ficus	92	100	90
Cissus	47	100	66
Poinsettia	79	100	87
Hibiscus	76	100	93
Rose	83	100	68
Chrysanthème	83	100	104
Plantes en pots	74	100	81

Les conclusions de cet essai, confirmé d'ailleurs par bien d'autres, apparaissent immédiatement: c'est la *brumisation* qui doit être envisagée en premier lieu comme technique susceptible de réduire les inconvénients d'un excès d'insolation et, partant, d'un excès de T° sous serre. Si la T° continue à croître dans la serre, il vaut mieux *ombrer* que *ventiler*, toujours pour les raisons de stress hydrique à éviter.

3.3 Action de la Lumière

Le facteur lumière est si important dans nos climats pour les cultures en serre effectuées en hiver que nous lui consacrons une étude spéciale qui est d'ailleurs loin de présenter tous les éléments fondamentaux qu'il serait bon de retenir.

Bornons-nous à noter ici que, dans une serre ordinaire plus ou moins bien entretenue, on observe les pertes de lumière (en % de l'insolation

incidente), dont l'ordre de grandeur est mentionné ci-après:

. 15 % par réflexion au niveau du matériau de couverture;

. 25% par absorption par le matériau de couverture et les salissures de celui-ci;

. 10 % par absorption par les parties opaques de la charpente.

Si l'on estime à une valeur moyenne de 20 % la fraction de l'ensoleillement incident qui tombe sur le sol (et n'est pratiquement pas réfléchi vers le feuillage, sauf cas d'utilisation de paillage réfléchissant), la feuille proprement dite ne reçoit donc finalement que environ 30 % de l'énergie incidente.
Quelle utilisation en fait-elle?

Le tableau ci-après est si expressif que nous nous en voudrions de le commenter.

TABLEAU 2 Transmission (T) réflexion (R) et absorption (A) de la lumière en fonction de la longueur d'onde du rayonnement reçu, chez Lactuca et Brassica (RABIDEAU)

Longueur d'onde	"Couleur"	Lactuca			Brassica		
		T	R	A	T	R	A
450 nm	bleu	1	17	82	6	14	80
550 nm	jaune	25	35	40	20	30	50
650 nm	rouge	2	18	80	6	13	81

3.4 Action de la Température

La réaction de la photosynthèse à la T^{o} (de l'air) se présente assez naturellement comme une courbe "en cloche" avec cette particularité, souvent rencontrée en physiologie végétale, que, au-delà d'un maximum correspondant à une T^{o} optimale, la courbe décroît plus rapidement qu'elle n'a crû pour atteindre ce sommet (courbe du 3^{e} degré).

L'allure de cette courbe est celle de la figure 4 qui exprime l'absorption d'eau par les racines en fonction de la T° du sol. Notons que ces deux phénomènes (photosynthèse et T° de l'air d'une part, absorption d'eau et T° du sol d'autre part) sont intimement liés, d'autant plus que la T° n'influence pas la réaction primaire, photochimique, de l'assimilation chlorophyllienne, mais toutes les autres réactions qui aboutissent à l'édification de matières organiques et qui sont catalysées par des enzymes.

La T° optimale sera d'autant plus élevée que les autres facteurs du climat - dont l'eau - seront eux-même proches de leur niveau optimum (voir intérêt de la brumisation).

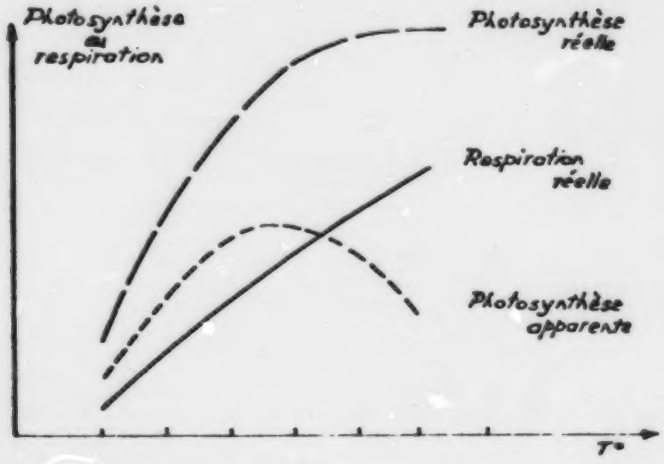
Les feuilles plus ou moins épaisses possèdent rarement, en serre, la même température que l'air ambiant: par forte insolation, elles peuvent montrer une T° assez nettement supérieure (+ 10° C); par fort rayonnement nocturne (sous film plastique, par exemple !), une T° bien inférieure (-5° C). La T° maximum d'une feuille est aussi directement fonction de la quantité d'eau qu'elle peut évaporer. Les conséquences de cette observation sont immédiates.

Il nous paraît bon de compléter la figure 4 par une autre (8) qui précise la réaction des éléments de la production de matière sèche (photosynthèse apparente, respiration et photosynthèse réelle).

Observons que l'accroissement de la vitesse de la photosynthèse aux T° élevées (déterminé par les échanges gazeux) est souvent masqué par une vitesse davantage accrue de la respiration. Celle-ci est, pour beaucoup de plantes, pratiquement proportionnelle à la T°.

Figure 8

Action de la T° sur la photosynthèse réelle, la respiration réelle et la photosynthèse apparente (photosynthèse réelle moins respiration).



Des ordres de grandeur sont donnés dans la littérature dans le cas par exemple de la culture du *Concombre sous serre:* la respiration de cette plante est multipliée par 6 entre 15 et 40° C. Sa photosynthèse apparente atteint son plafond vers 25°C. Dès 35° C, elle est pratiquement nulle car la production réelle de matière sèche est de l'ordre de grandeur de l'utilisation de celle-ci par la respiration. A 40° C, la photosynthèse réelle n'est plus que les 3/4 de la respiration, ce qui équivaut à une perte de matière fraîche par la plante !

3.5 Rapport Lumière/Température

L'interaction Lumière/Température sur la production des plantes nous paraît le mieux mise en évidence par la réalisation de diagrammes *"hélio-thermiques"* qui permettent de comparer l'évolution des

F2

Températures moyennes mensuelles et celle, correspondante, des insolations mensuelles, exprimées soit en énergie reçue soit en durées d'ensoleillement (cf figures 8 et 9 de l'"Eclairement des Cultures Protégées").

On observe tout d'abord que les variations de la température moyenne mensuelle d'une région sont parallèles à celles de l'insolation réelle de cette même région, *mais que les deux courbes sont décalées dans le temps*.

Un même ensoleillement, aux équinoxes, correspond au printemps à une T° sensiblement plus basse qu'à l'automne. Et cette observation conditionne bien des techniques d'utilisation des serres.

En mars, la serre relève la T°, insuffisante pour permettre une croissance optimale des plantes. La perte de lumière qu'elle provoque n'a généralement pas d'effet défavorable, d'autant plus qu'il est aisé d'adapter la T° de la serre au niveau lumineux enregistré (chauffer moins !).

A l'automne, par contre, une réduction de la lumière disponible et une augmentation simultanée de la T° moyenne - à la suite de l'emploi d'un abri - déséquilibrent le rapport lumière/T° et risquent de provoquer des perturbations au niveau de la plante car il est malaisé de réduire la température de la serre autant que l'exigerait la faible luminosité disponible et sans provoquer de stress hydrique.

Vers 52° de latitude, la *Laitue* présente, sous serre à *l'automne*, une végétation trop luxuriante et la pomme est moins ferme; la *Tomate* voit sa croissance végétative réduite mais plus encore, sa fertilité (avortement des fleurs); le *Concombre* supporte mieux que la Tomate le manque de lumière mais risque de souffrir d'un excès relatif de chaleur; le *Melon* voit, lui aussi, sa fertilité réduite tandis que le *Haricot* s'étiole et ne fleurit guère, que la *Rose* peut perdre ses feuilles et

même changer de couleur, et que *l'Oeillet* forme des tiges florales grêles et de faible qualité.

La culture automnale sous serre exige donc de réelles connaissances professionnelles de la part de l'horticulteur!

3.6 Climat en serre et substances élaborées

L'équilibre chimique que constitue la photosynthèse implique encore (nous l'avons vu dans l'introduction):

- d'une part, que les substances élaborées puissent quitter le champ de la réaction (O_2 et glucides) et
- d'autre part, que les échanges gazeux soient possibles entre plante et milieu ambiant.

Il apparaît donc utile de dire encore quelques mots de ces problèmes.

3.6.1 Formation des substances élaborées (= échanges gazeux)

On sait:

- que les stomates se trouvent principalement à la face inférieure de la feuille;
- que, ouverts, ils représentent environ 3 % de la surface de cette feuille;
- mais que leur "efficacité" peut être telle qu'elle atteint un niveau comparable à celui d'une feuille "ouverte" à 50 %.

La condition *sine qua non* pour que les échanges gazeux plante/air ambiant puissent avoir lieu est que les *stomates soient ouverts*.

Nous savons encore que:

- les stomates s'ouvrent sous l'action de la lumière;
- ils se ferment partiellement lorsque la concentration en CO_2 de l'air dépasse 0,1 % environ;
- ils se ferment davantage: - par manque d'eau et
  - par T^o excessive ($T^o \geqslant 30^o$ C).

Les conséquences de ces phénomènes sont immédiates.

A titre d'indication, disons encore que:

- lorsque les stomates sont fermés, le pouvoir évaporant de la feuille plafonne à 1-5 % de sa valeur maximum;
- lorsqu'ils sont ouverts à 25 %, ce pouvoir évaporant atteint 70 % du maximum;
- lorsqu'ils sont complètement ouverts, ledit pouvoir atteint naturellement 100 % mais représente 50 % de celui d'une nappe d'eau libre ou de papier humide (cf. plus haut).

N'oublions enfin pas que les échanges gazeux impliquent un renouvellement suffisant de l'atmosphère gazeuse dans le voisinage des stomates.

3.6.2 Transport des substances élaborées

WENT a montré que, chez la *Tomate*, la concentration en "sucrose" des feuilles augmente le jour selon une courbe dite "en sigmoïde": si à 8 h, en juin, elle est de l'ordre de 1 %, à 12 h elle atteint 3 % mais à 16 h elle ne dépasse pas 4 %, c'est-à-dire qu'on observe un certain "engorgement" après quelques heures de photosynthèse, celle-ci diminuant d'activité lorsque les feuilles sont saturées.

D'un autre côté, le même auteur observe que, la nuit, la plus grande partie de ce "sucrose" disparaît de la feuille, tant par respiration que par translocation et il estime que la respiration d'une feuille de *Tomate* ne consomme en moyenne la nuit que moins de 10 % des hydrates de carbone formés le jour précédent. En outre, il a démontré que cette migration est la plus rapide vers 10° C, puis voit sa vitesse se réduire de façon proportionnelle à l'augmentation de T°: chez la Tomate, elle n'atteint plus à 25° C que le 1/4 de ce qu'elle est à 10° C.

Ceci nous paraît constituer une deuxième explication du phénomène

du thermopériodisme à rythme journalier (ou besoin en "froid" nocturne) de la *Tomate*, la première étant l'influence qu'exerce cette alternance de hautes et basses T° sur l'apparition de fleurs.

Notons encore que si la nuit a été très longue (16 h) et la translocation active, le contenu en sucres des feuilles de *Tomate* peut être si faible qu'il limite la vitesse de réduction du CO_2 et que celle-ci ne peut avoir lieu à sa vitesse optimale qu'après une élévation suffisante de la concentration en sucre des feuilles: la plante "perd" donc encore 1 heure ou 2 le matin avant de photosynthétiser activement, et ce, en hiver justement !

Le transfert nocturne prédominant des substances élaborées faisait déjà dire à SACHS (1872) que, chez beaucoup de plantes, la croissance a surtout lieu la nuit et à WENT (1957) que la T° nocturne est déterminante pour la croissance (d'où l'établissement par ses soins de graphiques comparant la T° nocturne de diverses régions).

On conçoit ainsi que, par forte insolation et nuit chaude, le transfert des matières carbonnées puisse prendre du retard sur leur formation et que, par suite d'un "engorgement" des tissus, il y ait ralentissement du processus chimique de synthèse. C'est donc non pas le phénomène instantané de photosynthèse qui intéresse l'agronome mais le phénomène de production de matière sèche à l'échelon de la plante et impliquant des laps de temps suffisants.

Les producteurs de *Fraisiers* observateurs ont certainement noté que, pendant le jour, la coloration des feuilles de leurs plantes devient de plus en plus sombre, au fur et à mesure que s'y accumulent les glucides et que, le lendemain matin, si la T° n'a été ni trop élevée ni trop basse pendant la nuit, elles ont repris leur coloration vert plus tendre, la migration des sucres ayant eu lieu. Mais ces mêmes producteurs savent aussi que la coloration foncée des feuilles apparaît dans la journée d'autant plus tôt que les

conditions climatiques sont plus favorables à la photosynthèse. D'où le risque d'engorgement précité et de mauvaise "utilisation" par la plante de la lumière disponible.

D'autre part, les autres facteurs du climat étant à l'optimum, il est plus favorable à la plante de disposer d'un *éclairement "moyen" en intensité mais régulier* et pendant un temps plus long que de recevoir la même énergie globale ("Somme de lumière" !) en peu de temps, à la suite d'un rayonnement trop intense; celui-ci est mal utilisé par la plante (cf. "demande et offre en eau", figure 3, paragraphe 3.2.1). Les recherches en vue d'améliorer la conception d'une serre doivent tendre à limiter autant que faire se peut les pertes de lumière le matin et le soir, d'octobre à mars (et non à midi, comme cela se fait le plus souvent). Au contraire, une certaine réduction de l'insolation méridienne, même en hiver, peut s'avérer susceptible de favoriser la régularité et l'efficacité de la photosynthèse.

3.7 Remarque (T^o et chutes de neige)

Une caractérisation *simple* et *pratique* d'une région du point de vue de ses possibilités en culture avancée sous serre peut donc se baser principalement sur l'établissement de *diagrammes héliothermiques*, d'autant plus que les T^o moyennes qui y figurent permettent aussi d'estimer les coûts de chauffage à prévoir (degrés.jours).

Dans le cas d'une région "froide", il est également bon de tenir compte des *minima de* T^o.

Mais il paraît aussi très important de prendre en considération, dans de tels pays, le problème des *chutes de neige*, ne serait-ce que parce que des chutes brusques (25-30 cm en une nuit) posent des problèmes de construction des serres et d'élimination rapide des quantités de neige parfois très importantes qui se sont

TABLEAU 3 - *Evolution des T° (minima et moyennes), de l'insolation et des chutes de neige au cours des premiers mois de l'année dans quelque pays* (Canada et Europe occidentale)

D'après Landsberg	FEVRIER				MARS				AVRIL			
	T° min. (°C)	T° moy. (°C)	Insol. (h)	Neige (mm)	T° min.	T° moy.	Insol. (h)	Neige (mm)	T° min.	T° moy.	Insol. (h)	Neige (mm)
Québec	-32°	-10,7	102	701	-29	-4,9	128	450	-18	3,2	157	147
Montréal	-34	- 7,8	103	597	-27	-2,1	140	472	-14	6,2	154	112
Ottawa	-36	- 9,8	110	488	-31	-3,6	140	409	-14	5,3	168	81
Toronto	-29	- 3,8	105	335	-21	+0,2	139	254	-12	7,0	170	71
Halifax	-24	- 3,6	117	480	-19	-0,1	144	351	-11	+4,8	162	117
Winnipeg*	-45	-15,5	133	201	-39	-7,9	167	206	-30	+3,3	207	99
Edmonton*	-46	-11,6	119	193	-36	-5,5	163	198	-25	+4,2	221	152
Lethbridge	-42	- 7,1	126	264	-38	-2,4	162	249	-25	+5,4	210	173
Vancouver	-16	+ 4,1	89	112	- 9	+6,2	124	38	- 3	+9,1	195	-
De Belt (NL)	-21	+2,0	69	?	-12	+5,0	127	?	- 6	+8,5	164	-
Bruxelles (B)	-17	+2,6	77	?	- 9	+6,0	119	?	- 4	+9,2	158	-
Nantes (F)	-16	+5,3	94	?	- 6	+8,4	151	?	- 1	+10,8	203	-
Nice (F)	- 5	+8,5	165	?	- 2	+10,8	196	?	+ 3	+13,3	243	-
Barcelona (E)	- 7	+9,9	164	-	+ 1	+12,3	175	-	+ 4	+14,6	213	-
Almeria (E)	0	+11,8	190	-	+ 3	+14,1	227	-	+ 5	+16,1	260	-
Lisboa (P)	- 1	+11,6	182	-	+ 3	+13,6	206	-	+ 4	+15,6	265	-

N.B. (*) = chutes de neige même au mois de mai.
(?) = valeurs non disponibles.

accumulées sur les serres, principalement au niveau des gouttières (cas des serres à chapelles accolées) (voir tableau n° 5).

Enfin, la *vitesse de réchauffement* du climat en *février (mars)* donne de bonnes indications: c'est ainsi que des données météorologiques mêmes incomplètes montrent que le retour à des températures plus clémentes semble plus rapide et plus net à Montréal et surtout à Toronto qu'à Ottawa et Québec, ce qui, vu l'insolation pratiquement identique pendant le même mois dans ces 4 stations, paraît symptomatique de l'intérêt de construction de serres en ces régions. Si l'on se base sur ces données assez simples, on en arrive à dire que les zones de culture - économique - sous abri en début d'année se limitent donc, au Canada, à celles des 4 et peut-être des 5 villes citées dans ce tableau 5.

On voit donc qu'il existe une grande différence de climat "printanier" entre le Canada et l'Europe occidentale. Défavorisées peut-être du point de vue *insolation*, la Belgique, la Hollande et la France septentrionale possèdent cependant des bilans thermiques combien plus favorables ! En ce qui concerne les *chutes de neige*, elles sont encore très abondantes en février et même en avril, dans les régions du Canada citées, alors qu'elles sont beaucoup plus réduites en Belgique, en Hollande et dans le Nord de la France et pratiquement sinon réellement inexistantes à la côte d'Azur et dans le Sud de l'Espagne.

4 *Conclusions*

4.1 Point de vue théorique

Le simple fait de construire un abri c'est-à-dire d'interposer un matériau de couverture entre le climat naturel d'une région et les plantes à cultiver ne suffit pas à créer un climat "dérivé" qui corresponde spontanément aux exigences de ces plantes, si bien choisis aient été les matériaux utilisés.

Tout d'abord, parce que les exigences des végétaux varient nettement dans le temps et qu'une "production optimum" impliquerait que l'on parvienne à créer dans la serre et à tout moment les conditions climatiques qui rencontreraient au mieux ces exigences instantanées.

Ensuite, parce que le climat de la région varie lui aussi à tout moment et que la même construction devrait, finalement, arriver à transformer des conditions extérieures de climat très différentes en d'autres ayant de grands points communs entre elles (aspect qualitatif) mais susceptibles d'être "fignolées" pour rencontrer tout au long de l'année les désiderata quantitativement différents des plantes et d'ailleurs encore très mal définis au niveau variétal.

Et finalement, parce que le climat spontané primaire, créé par l'abri, est du type "aride" : grandes variations de T^{o}, précipitations nulles !

Si donc, la serre est un outil qui permet de fabriquer à volonté des climats différents, il faut se rendre compte de ce que toute intervention humaine est coûteuse, ne serait-ce que par les investissements qu'elle implique et qui croissent exponentiellement avec le degré de sophistication exigé. L'investissement le plus efficace et le moins cher reste une bonne couverture de la serre, conçue en matériaux photométriquement et thermiquement bien adaptés aux caractéristiques du climat de la région.

Entre: *d'une part,* cet *abri simple,* bon marché, dans lequel l'homme intervient le moins possible mais qui parvient quand même à satisfaire dans une mesure acceptable les exigences des plantes et *d'autre part* une *serre-phytotron* où chaque facteur du climat peut être maintenu (automatiquement mais à grands frais) à l'"optimum", il y a une marge considérable.

C'est finalement un *compromis* qu'il faut atteindre, entre l'abri simple et la serre sophistiquée. Et cet équilibre est basé sur une

rentabilité financière des investissements consentis. C'est donc l'aspect économique du problème qui, en fin de compte, devra surtout être pris en considération.

4.2 Point de vue pratique

Techniquement, il importe de maintenir les 4 facteurs interdépendants du climat (lumière, température, eau et CO_2) à un niveau optimal pendant le temps le plus long possible.
On y parvient notamment en essayant de:

4.2.1 . *construire les serres les plus claires* possibles en leur donnant forme et orientation en fonction des conditions locales;
. *choisir le matériau de couverture* le mieux adapté à la région;
. *adapter l'ombrage* aux besoins réels c'est-à-dire à l'excès d'insolation observé;

4.2.2 . prendre en considération la T^o *des plantes* et non celle de l'air de la serre;
. *éviter toute augmentation intempestive de la* T^o des plantes (leaf cooling !);
. *rechercher la* T^o *nocturne* qui permette:
. de satisfaire les besoins thermopériodiques des plantes;
. aux substances élaborées de migrer dans les meilleures conditions;
. d'éviter des condensations sur les feuilles;
. atteindre une T^o optimale au niveau *des racines* par:
. le chauffage du sol (même en lieu et place partiels de celui de l'air);
. la culture en conteneurs ou en N F T (Nutrient Film Technique);

4.2.3 . *maintenir une hygrométrie* de l'air élevée mais non excessive;

. *alimenter les plantes en eau* de façon continue et parfaite (irrigation localisée);

4.2.4 . *prévoir une fertilisation carbonée*, au moins pendant la matinée;

4.2.5 . *réduire la T°* de consigne de la serre:
. par temps couvert ou sombre;
. sous matériaux à faible transmission lumineuse;

4.2.6 . *aérer* sous le vent et non côté au vent (éviter le contact des plantes avec de l'air froid et sec);
. *brumiser*, puis ombrer enfin et seulement ventiler

4.2.7 . bâtir des abris à *grand volant thermique* (4 à 5 m^3 d'air/m^2 au sol) ce qui permet:
. de prolonger le travail en atmosphère confinée;
. d'atteindre à un bilan lumineux hivernal plus favorable.

Nutrient film culture

G.W. Winsor

Glasshouse Crops
Research Institute
Rustington,
Littlehampton
England

Introduction

Early man would have been well aware that, while many plants normally flourish 'on dry land', others such as the reeds and rushes thrive in seemingly waterlogged conditions and some grow in or under water in streams and lakes. Academic interest in the growth of plants in water can be traced back at least to the 17th century. Thus Woodward (1699) recorded his observations on the growth of mint plants in waters of differing purity; the plants grew better in natural (unpurified) water than in distilled water, and made even more growth in water to which a small amount of soil had been added. The true explanation of such results, namely that the soil or impure water supplied nutrients essential for the growth of plants, was, however, beyond the grasp of the early experimenters. Belief in the unique importance of humus in plant nutrition - the so-called 'humus theory' - persisted even into the beginning of the 19th century, and it was left to Liebig and others to show that plants absorbed mineral substances through their roots. The way was thus open for fundamental studies of plant nutrition, the essential nature of various elements such as nitrogen, phosphorus, potassium and the trace elements being established by comparing plant growth in solutions with and without the particular element in question, all other known nutrients being supplied. Indeed, much of our knowledge of the elements essential for plant growth and reproduction is based on solution culture and sand culture. Of these systems, sand culture is easier to manage and has been more widely used for agricultural research. For very precise studies, however, the solid substrate can be a source of contamination, particularly by trace elements, and solution culture is to be preferred.

Past experience of commercial crop-production without soil

The use of soilless culture to grow crops on a commercial scale has, until recently, lagged far behind its scientific applications. Gericke (1929, 1938) did considerable work on pure solution culture, i.e., without any solid substrate, at the University of California, and the method was

tested under his supervision by a number of growers during the 1930's. Despite the interest which this novel method of crop production attracted (see Hoagland and Arnon, 1938), solution culture failed at that time to establish itself as a viable commercial system. The tanks proved costly and cumbersome, and problems arose in supporting the young plants above the surface of the solution. Indeed, Circular 347 of the Agricultural Experiment Station, Berkeley, California (Hoagland and Arnon, 1938) was written at the request of the Director of that station "Because of doubts expressed concerning many claims made for the use of the water-culture method as a means of crop production,...". Stoughton (1969) considered that the problem of aerating the solutions contributed to the difficulties of developing successful commercial systems.

Aggregate-culture, using coarse sand, gravel or other locally available materials, has generally proved more promising than solution culture for crop production. The plants are supported naturally by their root systems in the substrate, avoiding the problem of mounting them in some support system fixed above the solution. Aeration in the system could also be improved by intermittent flow of the nutrient solution, the latter draining back under gravity. Such systems have serious disadvantages, however, associated with the presence of a solid substrate. The plants can form extensive root systems which have to be removed at the end of each crop; wet sand, for example, is a heavy material to work, and the substrate needs to be sterilized periodically. Thus, although some particularly large-scale installations were built in Japan to provide fresh salad crops for the American Armed Forces towards the end of the Second World War, aggregate culture has generally achieved only limited success in the past.

Despite these problems, conventional aggregate culture will always be of value in regions where the soil is unsuitable or absent. For example, some excellent crops are being produced in Israel by what must surely be the simplest known system of aggregate culture; the plants (e.g., tomatoes) are set out in the open in natural sand beds and simply

irrigated with nutrient solution.

Nutrient film culture ('NFT'); a modern system of solution culture

Nutrient film culture (Cooper, 1975) represents a major advance in the techniques of solution culture. Whereas in conventional solution culture the root system of the plants is free to extend in three dimensions, in nutrient film culture the depth of solution is minimized - a few millimetres would be ideal - and the spread of the root system is mainly two-dimensional. This simple geometric change has far-reaching consequences. Firstly, the earlier problems of supporting the crop above the surface of the solution whilst ensuring that the roots extend down into the latter no longer arise. The young plants, generally in some form of container in which they were propagated, are simply stood in rows in the NFT-gullies; the solution is so shallow that the stems are well above water level. Secondly, keeping the solution as shallow as possible gives a high ratio of surface area to volume, thus ensuring maximum aeration; the fact that the solution is re-circulating also assists in this important respect. Thirdly, the use of very shallow solutions makes it possible to use lightweight troughs constructed of relatively inexpensive plastic sheet, thus avoiding the costly and cumbersome tanks which characterized earlier forms of solution culture. This in turn leads to further advantages. Gullies constructed *in situ* from inexpensive polythene sheet may be regarded as expendable, thus eliminating the need for cleaning and sterilization before re-use. Furthermore, the layout of a nutrient film system may be changed from year to year if required, in striking contrast to most other systems of soilless culture, particularly those constructed in concrete.

Layout of a nutrient film system

The general layout of a nutrient film system, greatly simplified, is shown diagrammatically in figure 1. The main components of the system are:

(a) A *catchment tank* containing nutrient solution. For small-scale experimental purposes the tank may be relatively large in relation to the volume of solution flowing down the gullies, thus simplifying the problems of nutritional control. For large automated commercial systems, however, the catchment tank often only holds some 15-20 % of the total solution in circulation; this saves costs and glasshouse space, but leads to problems in the event of pump or power failure.

(b) A *pump*, sited in or above the catchment tank, which delivers the solution to the upper ends of the gullies (troughs) in which the plants are grown. Duplicate pumps are usually provided to guard against pump failure. The pumps should be of corrosion-resistant material, with no potentially toxic components such as copper, brass, galvanized iron, chromium or nickel plating in contact with the nutrient solutions. Manufacturers should be consulted beforehand as to the suitability of their pumps for use with mildly acidic (pH 5,5-6,5) saline solutions. For commercial systems the pumps are mounted above or beside the catchment tanks, and are usually fitted with a gauze filter and a non-return valve at the base of the uptake pipe. For research purposes it is often convenient to use submersible pumps within the catchment tanks.

The capacity of the pump needed may be calculated as the product of the required flow rate per gully (usually about 2 litres per minute) and the number of gullies, plus up to 50 % of spare capacity to allow for partial blockage of filters, loss of efficiency with continued operation and some degree of 'by-pass' to create turbulence and improve aeration in the catchment tank.

(c) The *gullies* or *troughs* in which the crop is grown, arranged in parallel lines down a slope of about 1 in 80 and never less than 1 in 100. Several different types of gully have proved satisfactory, provided that the basic requirements of the nutrient film system are met. Where the gullies are laid directly on a

sloping soil or concrete surface, the least expensive material is white-on-black polyethylene sheeting of 600-1000 gauge (figure 2). For tomatoes, a strip of such material, 27 inches wide, is laid on the floor of the glasshouse with the black side uppermost. The sides of the strip are raised and ultimately stapled or otherwise clipped together to form a gully of triangular cross-section; the flat base of the gully should be at least 10 inches wide for tomatoes and preferably 12 inches wide for cucumbers. A taut wire is sometimes located along and above the centre of each gully in order to support the plastic sheeting. Where conventional pots (e.g., 4½ inch diameter whalehide pots for tomatoes) are used for propagation, however, the pots help to support the plastic and the straining wire is unnecessary.

A semi-rigid, pre-creased, form of gully is also available commercially, the exterior being white for reflectance and the interior black. This material is more expensive than polythene sheeting, but helps to bridge localized defects of slope and ensures a standardized geometry for purposes of research.

An even stiffer, all-black, polythene liner has been tested commercially in raised systems of solution culture; the material has an expected life of up to five years. Some growers prefer a thinner, less expensive, form of gully, however, which can be replaced at intervals to avoid the need for cleaning and sterilizing between successive crops. A white outer surface would in any case be preferable, or even essential, in hot climates in order to avoid excessively high solution temperatures.

(d) A system into which the gullies discharge, designed to conduct the nutrient solution back to the catchment tank. In early NFT systems an open trench, polythene-lined, was provided to collect nutrient solution from the gullies and return it to the catchment tank. This, however, proved to be a source of contamination and

wasteful of glasshouse space. Modern systems use a *catchment pipe* of adequate diameter to return the nutrient solutions to the tank under gravity.

(e) *Monitoring and control systems* to maintain the overall nutrient concentration and pH of the solution (see figure 3). Whilst simple or prototype nutrient film systems can be controlled manually, commercial systems for crop production require automation. Several firms in the United Kingdom have developed equipment specifically for this purpose.

Overall nutrient concentration is monitored by a conductivity cell, either suspended in the catchment tank or fitted as a flow-through cell, connected to a conductivity meter and controller. This apparatus provides a measure of the total salt concentration in the solution in terms of the flow of electricity between the electrodes in the test cell. Whenever the salt concentration falls, the controller switches on a pair of injection pumps (see later section on nutrient solutions) to supply additional nutrients.

The acidity of the nutrient solution is adjusted by a second control system linked to a pH-electrode in the catchment tank. This controller displays the pH on a meter and operates an acid-resistant injection pump whenever the pH of the solution rises above its pre-set value, usually about pH 6,0 - 6,3. The need for periodic additions of acid arises for two reasons. Firstly, plants grown with nitrate as the main source of nitrogen excrete bicarbonate and hydroxyl ions through the roots, thus causing the solution to become increasingly alkaline. Secondly, the pH of the water supply itself is often above the preferred range; unduly 'hard' water with a very high bicarbonate content is undesirable for this reason, since the amounts of acid required for neutralization become excessive.

The level of water in the catchment tank is usually controlled by a simple float-valve, though electrical systems for depth control are also available.

Nutrient Solutions

Many nutrient formulations have been devised for use in hydroponic systems. The subject is too wide to discuss here in detail, but the basic principles of the nutrition of plants in nutrient film culture may be stated as follows.

(a) Compared with other systems of plant culture, the uptake of nutrients from a flowing solution is a highly efficient process. Thus in sand or gravel culture with intermittent irrigation the root system can temporarily lower the concentration of nutrients in the static film of solution in contact with the root surfaces, this condition lasting until the next irrigation. In the soil this localized depletion of nutrients has partly to be overcome by the relatively slow process of diffusion of ions through the soil to the root surface, thus restricting uptake. In contrast, the roots of plants in nutrient film culture are constantly bathed in a flowing stream of solution at the required concentration.

(b) Because of the efficiency of nutrient uptake in a recirculating system, plants will grow satisfactorily at concentrations far below those normally recommended for conventional hydroponic systems. Thus Stoughton (1969) suggested as '... a starting point .... for those who have no experience in the use of nutrient solutions... ' concentrations of 150 ppm nitrogen (N), 35-70 ppm phosphorus (P), 200 ppm potassium (K), 50 ppm magnesium (Mg) and 300 ppm calcium (Ca), together with 5 ppm iron (Fe), 1 ppm manganese (Mn), 0,5 ppm boron (B), 0,2 ppm zinc (Zn), 0,1 ppm copper (Cu) and 0,05 ppm molybdenum (Mo). The nitrogen level would be raised to 300 ppm in periods of high

sunshine, and the potassium level would be raised to 250 ppm under conditions of low light.

In contrast to these recommendations, experiments with tomatoes in nutrient film culture at the Glasshouse Crops Research Institute (Littlehampton, U.K.) have shown no reduction in yield at concentrations down to 10 ppm nitrogen or 5 ppm phosphorus, provided that the concentrations are maintained at these levels and not further depleted by plant growth; no significant differences in yield were found over the ranges 10-320 ppm nitrogen or 5-200 ppm phosphorus.

(c) Despite the relatively low concentrations of nutrients which suffice for plant growth in a recirculating system, nutrient film systems are normally run at higher concentrations (see paragraph (b)) in order to maintain an appreciable reserve of nutrients within the system.

The nutrient concentrations commonly used commercially for tomatoes, expressed in parts per million (ppm), are as follows: 150-200 nitrogen, 40-50 phosphorus, 300-450 potassium, 40-50 magnesium, 150-300 calcium. All the essential trace elements are also included, typical concentrations (ppm) being 3-6 iron, 0,5-1,0 manganese, 0,1 each of copper and zinc, 0,3 boron and 0,05 molybdenum.

(d) Although plants will tolerate a surprisingly wide range of nutrient concentrations in nutrient film culture, the ratio of the nutrients supplied in solution must be matched to their uptake by the crop. Unless this is achieved, some nutrients will become depleted whilst accumulate in the recirculating solution; the salinity controller can only measure total salt concentration and gives no indication of deficiency or excess of individual nutrients.

Commercial experience with tomato crops has provided an excellent example of the need to use appropriate nutrient ratios. Thus,

as the plants progress from the vegetative to the fruiting phase, the ratio of potassium to nitrogen absorbed increases quite suddenly from about 1.2:1 to 2.0-2.5:1, reflecting the increasing demand for potassium by the swelling fruits. Unless the nutrient formulation is changed accordingly, deficiency of potassium can occur in a salinity-controlled system, as shown by chemical analysis of samples from commercial nurseries.

(e) The nutrient concentrates ('stock solutions') used in automated NFT systems are usually at least one hundred times as concentrated as the final solution in which the plants grow. The overall concentration of the stock solutions is not critical, since the nutrients are added automatically as required to raise the total salinity to some pre-set value; as noted in the preceding section, it is the ratio of the nutrients in the stock solutions which matters.

Table 1 Examples of the formulation of nutrient concentrates (grams per litre); for trace elements see text

	GCRI formulations*				Proprietary** formulation
	A	D	E	G	
Solution I					
Calcium nitrate	97	67	48	18	88
Solution II					
Potassium nitrate	61	87	104	129	-
Potassium dihydrogen phosphate	22	22	-	-	-
Magnesium sulphate	51	51	51	51	-
'Solufeed F'	-	-	-	-	147

* See Winsor, Hurd and Price (1979), p. 28.
** 'Solufeed F' (ICI Plant Protection Ltd., U.K.).

Some examples of possible formulations of nutrient concentrates are given in Table 1. In each case two separate solutions are

prepared, one containing calcium nitrate and the other the rest of the nutrients required. The reason for this separation is that calcium phosphate or sulphate would precipitate if the concentrates were mixed before being diluted; twin pumps are therefore provided. Formulation A was devised to give a K/N ratio of 1,5:1, suitable for many crops including the vegetative phase of the growth of tomato plants. Formulations D and E both have a K/N ratio of 2,0:1 but differ with regard to phosphorus supply; the potassium phosphate would be omitted (as in formulation E) when the phosphorus content of the circulating solution rose as a result of using phosphoric acid to control the pH. Formulation G gives a still higher K/N ratio, sometimes required during fruit development (e.g., for tomatoes), and a proprietary fertilizer is also included for comparison.

TABLE 2 Amounts of nutrients (grams) supplied by 1 litre each of concentrates I and II (see Table 1)

	GCRI Formulations*				Proprietary** formulation
	A	D	E	G	
Nitrogen (N)	20	20	20	20	24
Phosphorus (P)	5	5	-	-	6
Potassium (K)	30	40	40	50	46
Magnesium (Mg)	5	5	5	5	(**)
Calcium (Ca)	16	11	8	3	15
Ratio K/N	1,5	2,0	2,0	2,5	1,95

*'Solufeed F' (ICI Plant Protection Ltd., U.K.).
** Not stated by manufacturer.

The amounts of nutrients (in grams) provided by one litre each of concentrates I and II are shown in Table 2. Multiplied by ten, these figures give the concentrations of nutrients (ppm) resulting if the stock solutions were diluted 1 in 100; thus formulation A would give 200 ppm N, 50 ppm P, 300 ppm K, etc., suitable for the early growth of tomato plants and many other

crops. The GCRI formulations A-G were calculated to provide equal amounts of nitrogen, magnesium and (where relevant) phosphorus. The potassium concentrations were adjusted so as to give the stated K/N ratios, and the differences in calcium concentration merely follow from the choice of the other salts and concentrations. Many water supplies already contain appreciable amounts of calcium, and in such areas it is often necessary to modify the nutrient formulation so as to minimize the long-term accumulation of this nutrient. Conversely, in areas with 'soft' (low-calcium) water, formulations such as G (Table 2) would undoubtedly be deficient in calcium; the formulation would therefore be changed by raising the level of calcium nitrate, reducing the potassium nitrate so as to maintain the nitrogen level, and restoring the potassium level by inclusion of potassium sulphate.

(f) In addition to the major nutrients included in Tables 1 and 2, all formulations must include the essential micronutrients. Expressed as grams of salts required per litre of concentrate II (Table 1), suitable amounts would be: 3,2 g chelated iron (Fe-EDTA), 0,2-0,4 g manganese sulphate, 0,16 g boric acid, 0,032 g each of copper sulphate and zinc sulphate and 0.008 g ammonium molybdate. Alternatively, a proprietary trace-element formulation corresponding to these quantities might be substituted. The commercial formulation referred to in Table 1 already includes the trace elements required.

(g) A third solution ('Solution III'), consisting of diluted nitric acid (about 2 %) or a mixture of nitric and phosphoric acids, is also required. This solution is added as necessary to bring the pH of the solution down to about pH 6. Major commercial installations use a pH controller to monitor pH and inject the required amounts of acid automatically via a corrosion-resistant pump. Professional advice should always be taken concerning the storage and handling of dangerous chemicals such as acids.

(h) Once crop growth begins in a nutrient film system, the

concentrations of nutrients in solution will depend on the balance of fertilizers supplied, nutrient uptake by the crop and the content of nutrients (e.g., calcium, sodium, chloride) in the water supply. Periodic chemical analyses are therefore advisable for commercial NFT systems, usually at least once a month. For smaller systems it may be economic to discard and replace the nutrient solution at intervals of 4-5 weeks, thus saving the cost of analysis.

Examples of experimental and commercial NFT-systems are shown in Figures 4-6.

Root growth and senescence

One consequence of adopting the nutrient film technique is that the root system may readily be inspected at any stage of growth. With tomatoes, for example, the root system at first develops at an increasing rate into a mat of clean white roots. Coinciding with the swelling of the first trusses of fruit, however, further growth slows down and the older roots begin to turn brown, i.e., root senescence sets in. As the older roots die and disintegrate, new white roots appear, particularly along the sides of the gully.

This sequence can be alarming to watch, but growth of the aerial parts of the plants appears to continue more or less normally; mild symptoms of magnesium deficiency may develop in the leaves at this stage, but this might also be expected in soil-grown crops. Indeed, this sequence of growth, senescence and re-growth is a characteristic of the plant rather than of the cultural system. Root death and re-growth were indeed demonstrated many years ago for soil-grown tomatoes, and the only special feature of the nutrient film system in this respect lies in the ease with which such changes can be observed by the grower.

Root death

Although root senescence is a normal feature of plants, there have been occasions when very extensive root death has occurred in NFT systems. In the early years of nutrient film culture this situation was at first attributed to fungal or bacterial pathogens. Several types of disease-producing fungi, notably species of *Phytophthora* and *Pythium*, can occur in NFT systems, but there is little evidence that these have acted as primary pathogens. More probably, such pathogens have attacked the roots of plants which were already weakened by unfavourable growing conditions. Fortunately, such cases now appear to be quite rare, unlike the early, developmental, phase of NFT. One of the pre-disposing factors may well have been poor aeration of the solutions, linked with excessive depth of solution due to narrow gullies and inadequate or uneven slopes. The presence of algal slime around the roots and the precipitation of calcium phosphate on the root surfaces due to excessive concentrations of calcium and phosphate may also have contributed to root problems in the early days of NFT.

If serious root death occurs in a tomato crop, the system should be drained out and refilled; the nutrient concentration should be decreased somewhat and the solution should be heated to 23° C to encourage root growth. Whilst many fungicides have proved harmful to plant roots, etridiazole has proved effective against *Phytophthora* and *Pythium* when used at a concentration of 30 ppm of the active ingredient every four weeks.

Every precaution should, of course, be taken to exclude pathogens from NFT systems. Covering the soil of the glasshouse with polythene sheet before laying the gullies will help to prevent contamination by soil-borne organisms, as obviously will the concreting of the floor preferred by some commercial growers. For tomatoes it is clearly desirable to use cultivars resistant to infection by virus (TMV) and wilt-inducing fungi (*Fusarium* and *Verticillium* species).

What are the advantages of NFT?

The nutrient film technique has many advantages over other systems of crop production in the greenhouse. Thus watering is greatly simplified; there is no need for day-to-day assessment of water requirement and water is fully available throughout the whole cropping area. Furthermore, the tedious task of finding and clearing blocked irrigation nozzles, which can be very time-consuming on a commercial scale, is eliminated. It should not be overlooked in this connection that commercial tomato houses in Western Europe will have some 10 000 irrigation nozzles or small-bore tubes per acre.

The supply of nutrients to the plants is also uniform and fully adequate at all times in a properly controlled NFT-system. Deficiencies are readily corrected, and there are no residual effects of previous crops and treatments on the uniformity of cropping.

The normal requirement for a rich, well-drained, soil is no longer relevant, the NFT-system being independent of the underlying substrate. The costly processes of cultivation and soil sterilization are therefore eliminated, thus making it possible to achieve a very rapid 'turn-round' between successive crops.

Above all, it has been shown in numerous trials that NFT can produce heavier yields than even the best of the existing substrates for commercial crop production, namely peat. As an example, some data for tomato yields in NFT and in peat bags, quoted by Spensley, Winsor and Cooper (1978), are reproduced in Table 3. In general, commercial experience with tomatoes suggests an average gain of up to 10 % in yield.

Table 3 Comparative yields of tomatoes (kg/m^2) grown in NFT and in peat bags

Year	NFT	Peat
1975	37,4	29,6
1976	40,1	32,2
1977	36,1	31,8

NFT: progress and prospects

Commercial trials of nutrient film culture were started in 1974/75, initially on very small scale. By the beginning of 1979 some 62 acres of greenhouses were in use for production of high value crops in the British Isles, and this area is increasing steadily. Whilst this still represents only a small proportion of the total glasshouse area in Britain, it nevertheless signifies a sizeable and growing commitment to this modern system of cultivation. Indeed, in view of the increased yields noted in the preceding section, it seems highly likely that NFT will ultimately replace peat bags in most modern nurseries.

The area of NFT outside the British Isles is not yet known, but interest in this technique is enormous, judging by the numbers of visitors who come to the Glasshouse Crops Research Institute specifically to see and discuss the system. NFT is attracting particular attention in the Middle East, where soils suitable for conventional crop production are often absent and where economy in the use of water is important. Tomatoes and other salad crops are already being produced in this way under mesh-plastic for protection.

It is important to keep the prospects for NFT in perspective. The successes have so far mainly been achieved with high value glasshouse crops; a published assessment of the economics of tomato growing favours NFT as compared with crop production in peat or soil. There can be no advantage, however, in adopting hydroponic techniques for low value crops under conditions where these can already be grown successfully in

the soil. Nevertheless, where conditions are not suitable for conventional production in field soils, the nutrient film technique may well be the answer, particularly if simplified systems of nutritional control can be developed for use in circumstances where the value of the crop would not justify extensive outlay on automated systems. Research on this topic is already in progress, based on the fact that, for an established crop, the rates of uptake of nutrients and water are correlated with the amount of sunshine reaching the crop. It seems quite feasible that, for a given crop and stage of growth, an adequate degree of nutritional control may ultimately be achieved by supplying nutrients in relation to water consumption, supported by periodic checks on total salt concentration and an occasional chemical analysis.

Finally, the interests of the amateur greenhouse enthusiast should not be overlooked. Small-scale installations can hardly justify expenditure on automated systems for control of pH and conductivity. The development of a portable low-cost conductivity meter, even if accurate to only 5-10 %, could change the situation, however. The use of such an instrument to check daily on total salt concentration, in conjunction with indicator solutions or even test papers to estimate the pH colorimetrically, would make NFT a practical reality for the amateur.

Bibliography

1 Cooper, A.J. (1975). Crop production in recirculating nutrient solution. Scientia Horticulturae, *3*, 251-258.

2 Gericke, W.F. (1929). Aquaculture, a means of crop production. American Journal of Botany, *16*, 862.

3 Gericke, W.F. (1938). Crop production without soil. Nature, *141*, 536-540.

4 Hoagland, D.R. and Arnon, D.I. (1938). The water-culture method for growing plants without soil. Circular *347*, Agricultural Experiment Station, Berkeley, California.

5 Spensley, K., Winsor, G.W. and Cooper, A.J. (1978). Nutrient film technique - crop culture in flowing nutrient solution. Outlook on Agriculture, *9*, 299-305.

6 Stoughton, R.H. (1969). Soilless cultivation and its application to commercial horticultural crop production. FAO, United Nations, Rome.

7 Winsor, G.W., Hurd, R.G. and Price, D. (1979). Grower's Bulletin No. 5: Nutrient Film Technique. Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton, U.K.

8 Woodward, J. (1699). Thoughts and experiments on vegetation. Philosophical transactions of the Royal Society of London, *21*, 193-227

Figure 1 **Principales parties d'une installation de culture sur pellicule d'éléments nutritifs.**

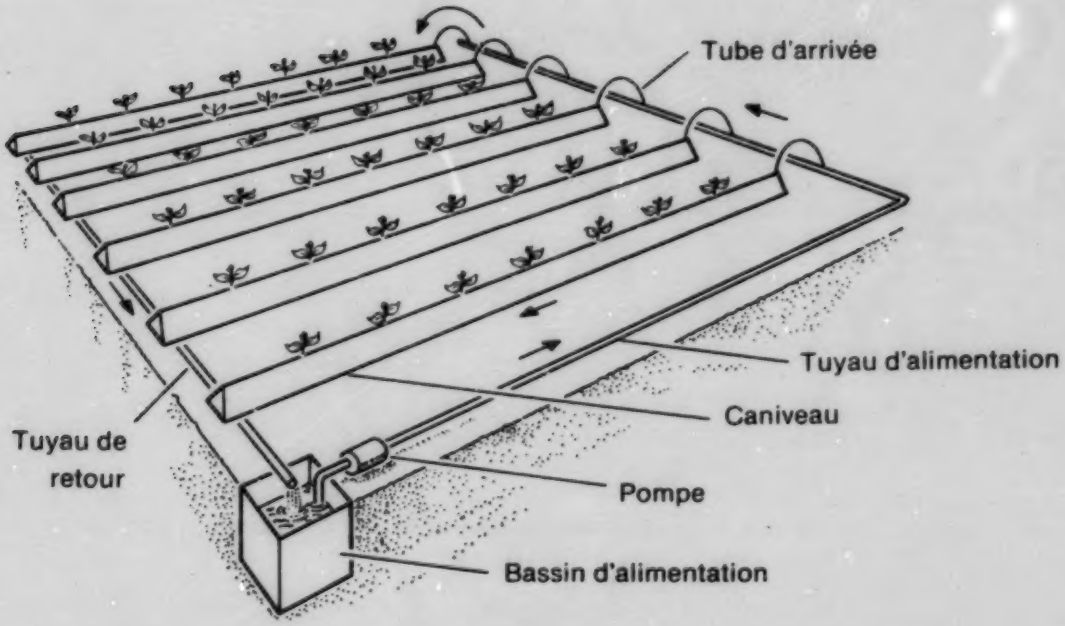


Figure 1 **The main features of a nutrient film system.**

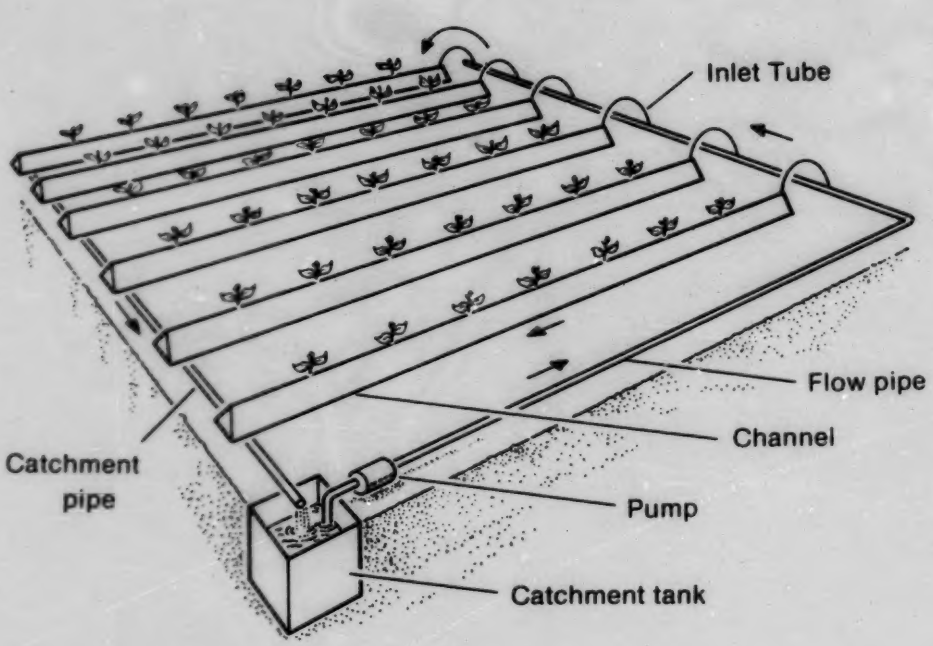


Figure 2 **Culture de jeunes plants de tomate dans des caniveaux de polythène posés sur une surface de béton en pente.**

A young tomato crop growing in polythene gullies on a sloped concrete floor.

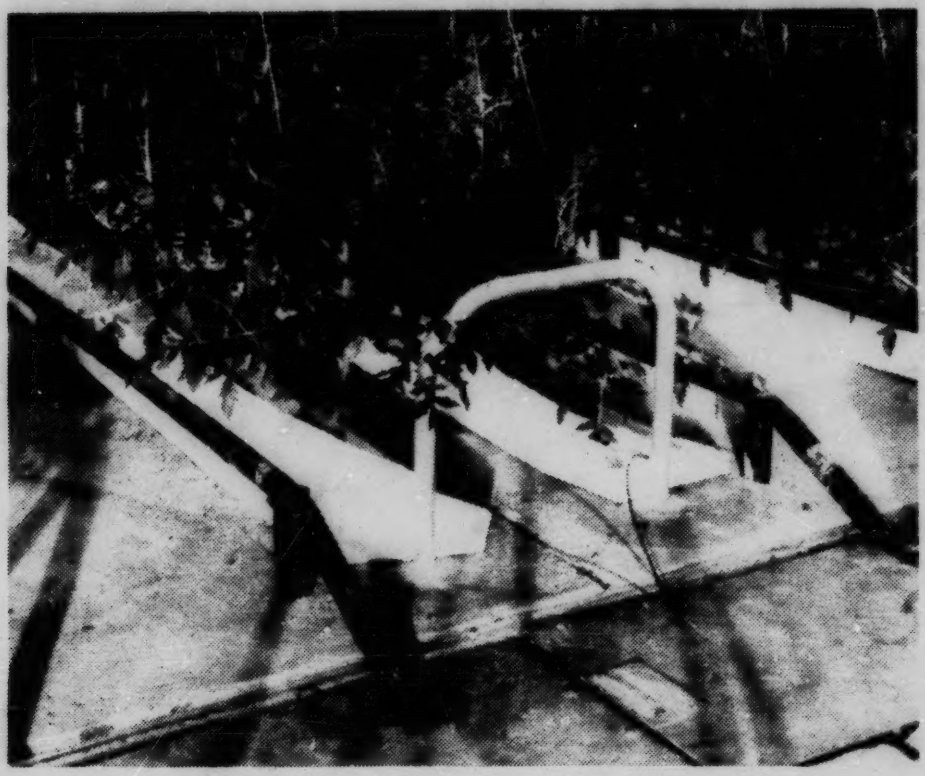


Figure 3 **Le bassin et le système d'alimentation d'une installation automatisée de culture sur pellicule.**
Principales parties:
a. clapet de retenue; b. réservoir isolé; c. plancher; d. arrivée d'eau; e. pompe de circulation; f. filtre; g. conduite d'amenée de la solution; h. tuyau d'eau chaude; i. soupape de contrôle (chauffage de la solution); j. dispositif de contrôle de l'acidité; k. dispositif de contrôle de la salinité; l. pompes à injection pour les acides et les éléments nutritifs; m. trop-plein; n. sortie perforée pour améliorer l'oxygénation; p. détecteur de salinité et d'acidité; q. serpentin réchauffeur; r. tuyau de retour (des caniveaux).

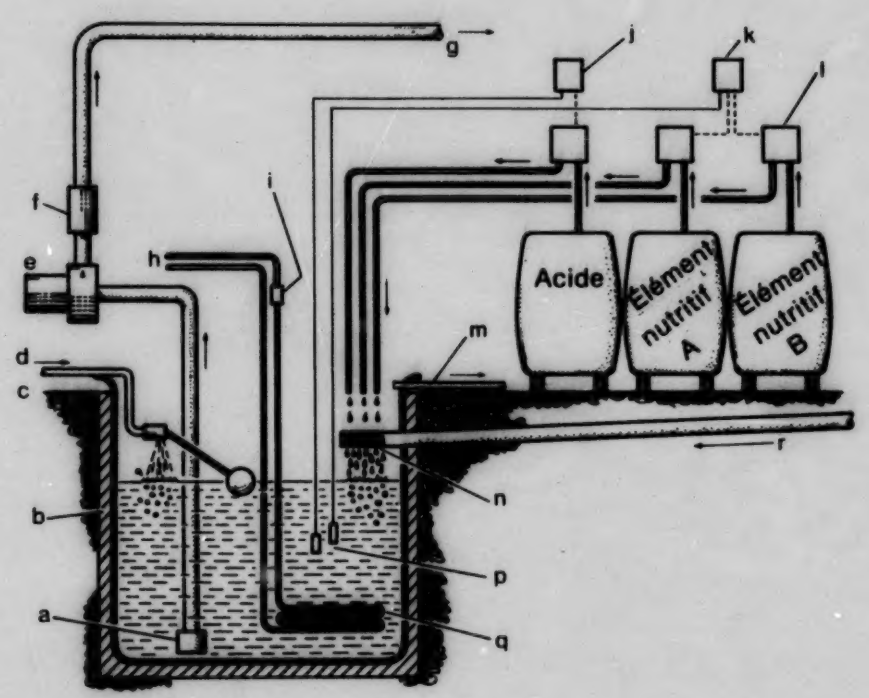


Figure 3 **The catchment tank and nutrient supply system in a automated nutrient film system.**
The main features are:
a. Foot valve; b. Insulated tank; c. Ground level; d. Water inlet; e. Circulating pump; f. Filter; g. Nutrient solution supply to gullies; h. Hot water pipe; i. Control valve (solution heating); j. pH controller; k. Salinity controller; l. Injection pumps for acids and nutrients; m. Overflow; n. Perforated outlet to increase aeration; p. pH and salinity sensors; q. Heating coil; r. Return (catchment) pipe from gullies.

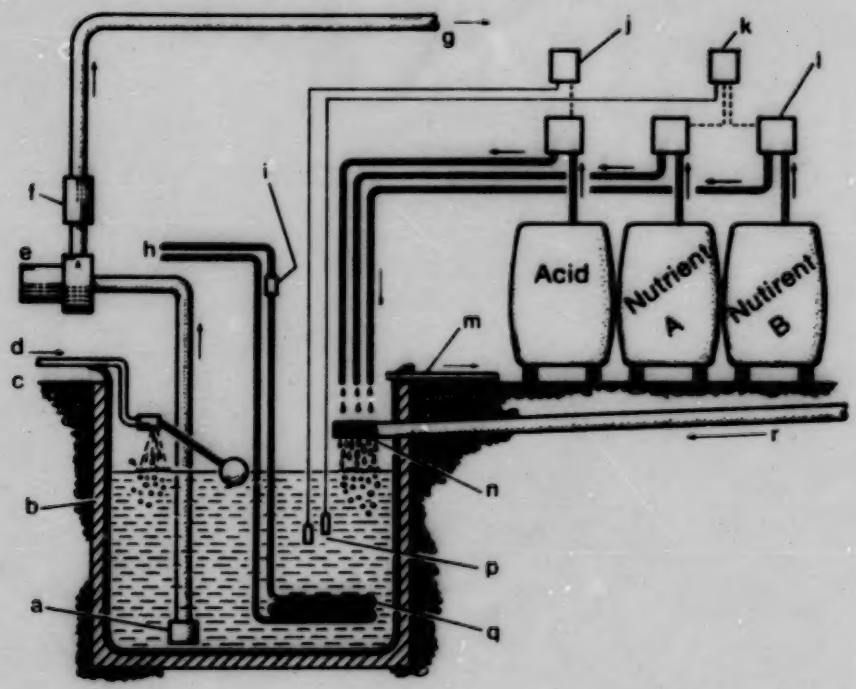


Figure 4 **Culture des concombres dans une installation expérimentale de culture sur pellicule au Glasshouse Crops Research Institute**

Cucumbers growing in experimental NFT-systems at the Glasshouse Crops Research Institute.

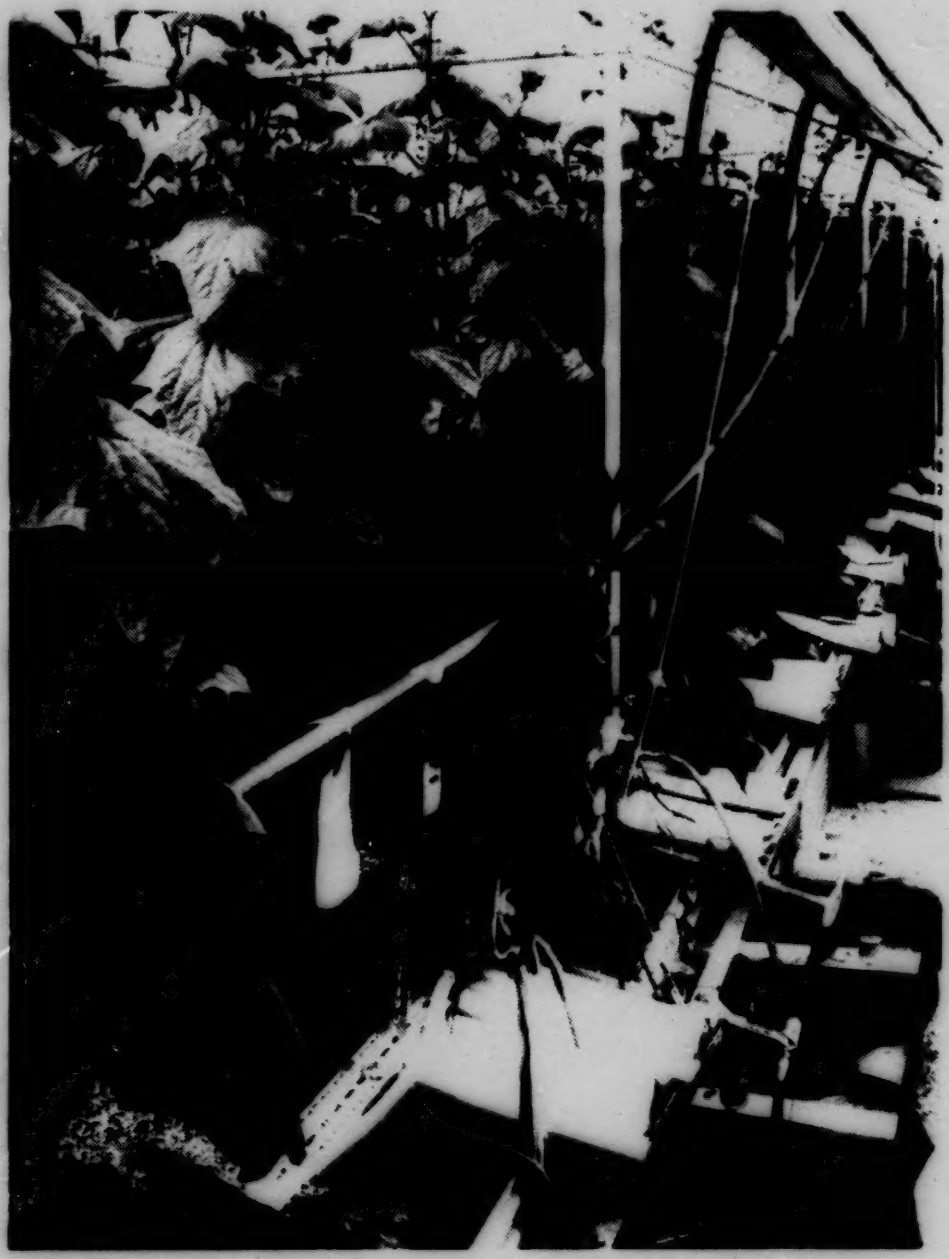


Figure 5 **Culture des tomates dans une installation commerciale de culture sur pellicule.**

Tomatoes growing in a commercial NFT-system.

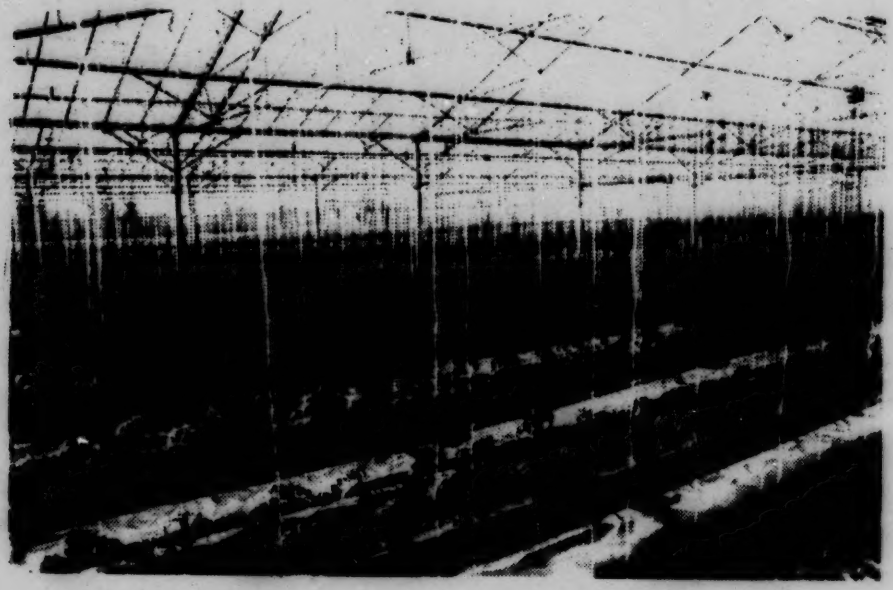


Figure 6 **Installation commerciale de culture sur pellicule destinée à la production de la laitue. Utilisation de caniveaux peu profonds pratiqués à même le plancher de béton en pente de la serre.**

A commercial NFT-system for lettuce production, using shallow gullies formed in the sloping concrete floor of the glasshouse.

La culture sur pellicule d'éléments nutritifs

G.W. Winsor

Glasshouse Crops
Research Institute
Rustington, Littlehampton
Angleterre

Introduction

L'homme a dû très tôt se rendre compte que de nombreuses plantes poussent normalement sur la "terre ferme", tandis que d'autres, telles les joncs et les roseaux, préfèrent les terrains détrempés et que d'autres encore vivent dans l'eau, ou même sous l'eau, dans des ruisseaux ou des lacs. La science s'intéresse à la culture des plantes dans l'eau au moins depuis le XVII^{e} siècle. Ainsi en 1699, Woodwards notait ses observations sur la croissance de la menthe dans des échantillons d'eau présentant divers degrés de pureté. Il remarqua que les plantes se développaient mieux dans l'eau naturelle (non purifiée) que dans l'eau distillée, et que le résultat était encore meilleur lorsqu'il ajoutait un peu de terre. Cependant, les hommes de science de cette époque n'étaient pas en mesure de trouver la véritable explication des résultats obtenus, soit que le sol ou l'eau non purifiée contenaient des principes nutritifs essentiels à la survie des plantes. Jusqu'au début du XIX^{e} siècle, on crut en l'importance primordiale de l'humus dans la nutrition des plantes; c'est ce qu'on appelait la "théorie de l'humus". Plus tard, Liebig et d'autres savants démontrèrent que les plantes absorbaient des substances minérales par leurs racines. La voie était alors ouverte à la recherche fondamentale dans le domaine de la nutrition des plantes. Il s'agissait d'établir l'importance de divers éléments (azote, phosphore, potassium et oligo-éléments) en comparant le développement des plantes lorsque privées ou non d'un de ces éléments. En réalité, la plus grande partie de ce que nous savons sur les éléments essentiels à la croissance et à la reproduction des plantes découle d'expériences de culture dans le sable ou sur solutions nutritives. La culture dans le sable s'est révélée la plus facile à exploiter et a donc été la plus couramment utilisée en expérimentation agricole. Toutefois, le sable risque de constituer une source de contamination, surtout par les micro-éléments qu'il contient, et il est préférable d'effectuer sur solution les études qui nécessitent des résultats très précis.

Expériences commerciales de production sans sol

Jusqu'à récemment, l'application commerciale des cultures hydroponiques a beaucoup tardé à suivre la recherche scientifique. Gericke (1929, 1938) a fait beaucoup de travaux sur l'hydroculture (sans substrat solide) à l'université de Californie et pendant les années 1930, il a supervisé la mise à l'essai de cette technique chez de nombreux producteurs. Malgré l'intérêt manifesté (voir Hoagland et Arnon, 1938), les cultures hydroponiques n'ont pas réussi à s'imposer comme une solution rentable du point de vue commercial. Les bassins se sont révélés coûteux et encombrants. En outre on éprouvait de la difficulté à maintenir les jeunes plants au-dessus de la solution. En fait, c'est à la demande du directeur de *l'Agricultural Experiment Station* de Berkeley en Californie, qu'a été publiée la circulaire numéro 347 (Hoagland et Arnon, 1938) "En raison des doutes exprimés relativement à de nombreuses demandes de mise en application commerciale de l'hydroculture". Stoughton (1969) estimait que les difficultés reliées à l'aération des solutions rendaient encore plus problématique la mise au point d'une installation rentable.

Les cultures sur agrégat (gros sable, gravier ou autres matériaux disponibles sur place) ont en général semblé préférables aux cultures sur solution pour les exploitations commerciales. Dans ce cas, les plantes sont soutenues par leurs racines, ce qui élimine la nécessité de les fixer à un support au-dessus de la solution. En outre, il est alors possible d'améliorer l'aération du système en faisant circuler les substances nutritives par intermittence, le drainage s'effectuant par la gravité. Toutefois, ce genre d'installation comporte de sérieux inconvénients liés à la présence du substrat. Les plantes développent tout un réseau de racines qu'il faut enlever après chaque récolte; le sable mouillé, par exemple, est un matériau très lourd à manier; de plus, le substrat doit être stérilisé périodiquement. Ainsi, même si des installations particulièrement importantes ont été construites au Japon pour fournir de la laitue fraîche aux soldats américains vers la fin de la Deuxième Guerre mondiale, les cultures sur agrégat ont connu jusqu'ici peu de succès.

Malgré les difficultés qu'elles comportent, les cultures sur agrégat demeureront toujours une solution valable pour les régions où le sol est rare ou peu cultivable. Par exemple, on produit d'excellentes récoltes en Israël au moyen de ce qui doit sûrement être la plus simple des méthodes de culture sur agrégat. Les plantes (des tomates par exemple) poussent à l'extérieur, dans des bancs de sable naturel simplement irrigués par une solution nutritive.

Culture sur pellicule d'éléments nutritifs
Une méthode moderne de culture sur solution

La culture sur pellicule d'éléments nutritifs (Cooper, 1975) est une innovation de toute première importance dans le domaine des cultures sur solution. Tandis que dans les installations conventionnelles de culture hydroponique les racines des plantes peuvent se développer dans les trois dimensions, dans la culture sur pellicule l'épaisseur de la solution est réduite au minimum (quelques millimètres seraient l'idéal) de sorte que les racines se développent surtout en deux dimensions. Cette simple différence a des retombées considérables. Premièrement, il n'est plus nécessaire de soutenir la plante au-dessus de la surface de la solution et de veiller à ce que les racines soient plongées dans celle-ci. Les jeunes plants, qui se trouvent ordinairement dans le récipient où ils ont poussé, sont simplement disposés en rangées dans des caniveaux. La pellicule de solution est tellement mince que les tiges émergent facilement. Deuxièmement, le fait de maintenir l'épaisseur de la pellicule à son minimum permet d'obtenir un rapport très élevé de la surface par rapport au volume, donc une oxygénation maximale. Ce dernier aspect est également favorisé par la recirculation de la solution. Troisièmement, grâce à la faible épaisseur de la pellicule, il est possible d'utiliser des bacs d'alimentation légers fabriqués avec des feuilles de plastique relativement bon marché, ce qui élimine les réservoirs coûteux et encombrants qui caractérisaient autrefois la culture sur solution. D'autres avantages découlent de ce qui vient d'être mentionné. Les caniveaux étant fabriqués sur place à partir de feuilles de polythène bon marché, on peut tout simplement les

remplacer au lieu de les nettoyer et de les stériliser pour réutilisation. En outre, la disposition du système peut être modifiée tous les ans s'il y a lieu, ce qui n'est évidemment pas le cas pour la plupart des autres installations de culture sans sol, surtout lorsqu'elles sont en béton.

Disposition du système

On trouve à la figure 1 une illustration très schématisée d'une installation de culture sur pellicule. Les principaux éléments de l'installation sont:

a) Le bassin d'alimentation qui contient la solution nutritive. Dans les petites installations expérimentales, le bassin peut être relativement important par rapport au volume de solution qui circule dans les caniveaux, car cela permet de simplifier les problèmes liés au contrôle de la nutrition. Toutefois, dans les grandes installations commerciales bien automatisées, le bassin ne contient souvent pas plus de 15 à 20 % de la solution mise en circulation. On parvient aussi à économiser l'espace et à réduire les coûts, mais on risque de se retrouver en face de sérieux problèmes si la pompe cesse de fonctionner ou en cas de panne de courant.

b) La *pompe* installée dans le bassin d'alimentation, ou au-dessus de celui-ci, pousse la solution jusqu'à l'extrémité supérieure des caniveaux (bacs) où se trouvent les plantes. Normalement, on prévoit une pompe de secours au cas où la pompe principale viendrait à faire défaut. Les pompes doivent être fabriquées d'un matériau résistant à la corrosion et ne pas comporter d'éléments qui pourraient se révéler toxiques une fois en contact avec la solution (pièces en cuivre, laiton, acier galvanisé, ou recouvertes d'un placage de chrome ou de nickel). Avant d'acheter une pompe, il faut demander au fabricant si elle peut être utilisée dans une solution saline légèrement acide (pH 5,5 à 6,5). Dans les installations commerciales, les pompes sont installées à côté ou au-dessus du bassin d'alimentation. L'extrémité du tuyau de montée est généralement pourvue d'un filtre à gaze et d'un

clapet de retenue. Aux fins de recherches, il est souvent pratique d'utiliser des pompes submersibles placées au fond du bassin.

On choisit la pompe en fonction du débit par caniveau (ordinairement environ deux litres à la minute) et du nombre de caniveaux à desservir. Il faut également compter sur un surplus de capacité de 50 % permettant de compenser le blocage partiel des filtres et une perte d'efficacité due à l'usure, et de créer une certaine dérivation, donc de produire de la turbulence pour faciliter l'aération du bassin.

c) Les *caniveaux* ou *bacs* où croissent les plantes sont disposés parallèlement les uns aux autres et forment un plan incliné dont la dénivellation est d'environ de 1/80 (au moins de 1/100). On a obtenu de bons résultats avec plusieurs genres de caniveaux qui tous satisfaisaient aux exigences fondamentales de la culture sur pellicule. Quand les caniveaux sont posés directement sur le sol ou sur une surface de béton en pente légère, le matériau le moins coûteux est alors le polyéthylène blanc et noir de calibre 600 à 1 000 (figure 2). Pour la culture des tomates, on place une bande de 27 pouces de largeur sur le sol de la serre, le côté noir sur le dessus. On relève ensuite les côtés de la bande que l'on fixe l'un à l'autre (au moyen d'agrafes par exemple) de manière à constituer un caniveau triangulaire. La base du caniveau devrait être large d'au moins dix pouces pour les tomates et, autant que possible, de douze pouces pour les concombres. On peut tendre un fil métallique au-dessus des caniveaux, au centre, pour soutenir la feuille de plastique. Quand on utilise des pots ordinaires pour la propagation, (par exemple, des pots à tomates de 4½ po de diamètre faits de papier kraft résistant à l'humidité), il n'est pas nécessaire de soutenir le plastique à l'aide d'un fil.

Il est également possible d'acheter des caniveaux semi-rigides façonnés en usine; l'extérieur de ces caniveaux est blanc et l'intérieur est noir. Ce produit est plus cher que les feuilles de polyéthylène, mais il permet d'éliminer les défauts de pente que peut comporter la

surface d'appui et garantit une géométrie uniforme des caniveaux, ce qui peut être un facteur important en recherche.

On a également essayé dans des installations commerciales d'hydroculture sur supports un polythène noir encore plus épais, d'une durée possible de cinq ans. Certains producteurs préfèrent toutefois des caniveaux moins épais et moins coûteux qu'ils peuvent remplacer, ce qui leur évite de les nettoyer et de les stériliser entre les récoltes. Dans tous les cas, l'extérieur des caniveaux devrait être blanc. Cela est même essentiel dans les régions chaudes pour éviter que la solution atteigne une température trop élevée.

d) Le dispositif destiné à récupérer la solution qui a circulé dans les caniveaux et à la ramener au bassin d'alimentation. Dans les premières installations de culture sur pellicule, une tranchée ouverte doublée de polythène jouait ce rôle, mais cette façon de procéder s'est révélée une source de contamination et de perte d'espace dans les serres. Les nouvelles installations sont dotées d'un *conduit collecteur* d'un diamètre suffisant qui ramène par gravité la solution au bassin.

e) Les *dispositifs de régulation et de contrôle* qui servent à maintenir la concentration des substances nutritives et le taux d'acidité de la solution (voir figure 3). Les installations simples et les prototypes peuvent être contrôlés à la main; quant aux installations commerciales, elles doivent être munies d'appareils de contrôle automatique. Plusieurs sociétés britanniques ont conçu des appareils précisément adaptés à cette fin.

La concentration des substances nutritives est contrôlée par une cellule de conductivité, suspendue dans le bassin d'alimentation ou montée dans les conduites, qui est reliée à un conductivimètre et à un dispositif de contrôle. Cet appareillage sert à mesurer la concentration saline totale de la solution à partir du flux électrique qui circule entre les électrodes de l'élément de contrôle. Lorsque la

concentration saline décroît, l'appareil de contrôle enclenche deux pompes à injection (voir la partie suivante sur les substances nutritives) qui assurent l'alimentation en substances nutritives.

Un deuxième dispositif, relié celui-là à une électrode placée dans le bassin d'alimentation, contrôle le taux d'acidité de la solution. Cet appareil indique le pH sur un cadran et actionne une pompe, elle-même inattaquable aux acides, lorsque la solution devient trop acide (pH normal, environ 6 à 6,3). Deux raisons peuvent justifier l'apport d'acide. D'abord, les plantes qui reçoivent l'azote surtout sous forme de nitrate dégagent des ions de bicarbonate et d'hydroxyle par leurs racines, ce qui entraîne une alcalinisation croissante de la solution. En outre, le pH de l'eau se situe souvent au-dessus du taux voulu. Ainsi, de l'eau trop "dure" (qui comporte un taux trop élevé de bicarbonate) est à déconseiller parce qu'il faut une quantité d'acide trop élevée pour la neutraliser.

Même s'il est également possible de se procurer un appareil électrique de mesure de la profondeur, le niveau d'eau du bassin d'alimentation est ordinairement contrôlé au moyen d'une simple soupape à flotteur.

Solutions nutritives

Il existe un grand nombre de formules de solutions destinées aux cultures hydroponiques. Il serait trop long de traiter de ce sujet en détail, mais les principes de base qui régissent la culture des plantes sur pellicule peuvent être énoncés de la manière suivante:

a) Comparativement à d'autres systèmes, la nutrition des plantes par une solution maintenue en circulation est très efficace. Ainsi, dans les cultures sur sable ou gravier qui sont irriguées par intermittence, il peut arriver que les racines épuisent la pellicule statique de substances nutritives qui les entoure, en attendant l'irrigation suivante. Dans le sol, cette diminution localisée de la quantité d'éléments

nutritifs doit être partiellement compensée par le processus relativement lent de la diffusion des ions. Les racines ne peuvent donc pas trouver la quantité de substances nutritives dont elles ont besoin. Par contre, les racines des plantes cultivées sur pellicule baignent dans une solution maintenue à la concentration désirée.

b) Parce que les plantes placées dans un flot de substances nutritives s'alimentent plus facilement, elles peuvent croître de manière satisfaisante dans des solutions beaucoup moins concentrées que celles qu'on recommande pour les systèmes hydroponiques conventionnels. Ainsi, Stoughton (1969) suggère "... pour ceux qui n'ont pas d'expérience en matière de culture sur solutions..." de débuter par des concentrations de 150 ppm d'azote (N), 35 à 70 ppm de phosphore (P), 220 ppm de potassium (K), 50 ppm de magnésium (Mg), 300 ppm de calcium (Ca), 5 ppm de fer (Fe), 1 ppm de manganèse (Mn), 0,5 ppm de bore (B), 0,2 ppm de zinc (Zn), 0,1 ppm de cuivre (Cu) et 0,05 ppm de molybdène (Mo). Par temps très ensoleillé, on devrait augmenter la concentration en azote jusqu'à 300 ppm, tandis que par temps sombre, il vaudrait mieux maintenir la concentration en potassium à 250 ppm.

Toutefois, des expériences menées au *Glasshouse Crops Research Institute* de Littlehampton (Royaume-Uni) sur la culture des tomates sur pellicule de substances nutritives ont permis d'établir que la production reste stable même à des concentrations de 10 ppm d'azote et de 5 ppm de phosphore, pourvu que ces concentrations demeurent constantes et que la croissance des plantes ne puisse pas les modifier. Aucune différence substantielle n'a été constatée dans la production lorsque les concentrations étaient maintenues entre 10 et 320 ppm pour l'azote et 5 et 200 ppm pour le phosphore.

c) Même s'il est possible de conserver des concentrations relativement faibles dans un système où la solution demeure en circulation, on les maintient normalement à un niveau plus élevé (voir paragraphe précédent) pour que le système dispose d'une réserve raisonnable d'éléments

nutritifs.

Voici quelles sont les concentrations habituellement retenues pour la culture commerciale des tomates (exprimées en parties par million - ppm): azote, 150 à 200; phosphore, 40 à 50; potassium, 300 à 450; magnésium, 40 à 50; calcium, 150 à 300. Tous les oligo-éléments nécessaires s'y trouvent, normalement dans des proportions de 3 à 6 ppm pour le fer, de 0,5 à 1 pour le manganèse, de 0,1 ppm pour le cuivre et le zinc, de 0,3 ppm pour le bore et de 0,05 pour le molybdène.

d) Même si les plantes peuvent tolérer un éventail étonnant de concentrations, il faut faire correspondre le rapport entre la quantité de substances nutritives fournie aux plantes et la consommation de ces dernières. S'il y a déséquilibre, certaines substances risquent de manquer tandis que d'autres s'accumuleront dans la solution. Les indicateurs de salinité contrôlent uniquement la concentration totale et ne peuvent donner d'indications sur le dosage des substances.

Une expérience de production commerciale des tomates a donné un excellent exemple de la nécessité de respecter les rapports voulus. Ainsi, au moment où les plantes passent du stade végétatif au stade de la fructification, le rapport entre le potassium et l'azote absorbée passe subitement d'environ 1,2:1 à 2 ou 2,5:1, ce qui traduit une augmentation de la consommation de potassium reliée au gonflement des fruits. Comme le révèlent les analyses chimiques d'échantillons provenant de pépinières commerciales, si la formule nutritive n'est pas modifiée en conséquence à ce moment, les plantes risquent de souffrir d'un manque de potassium.

e) Dans les installations automatisées de culture sur pellicule, la "solution mère" a généralement une concentration au moins cent fois supérieure à celle de la solution dans laquelle croissent les plantes. La concentration totale des solutions mères n'est pas importante puisque les substances sont ajoutées automatiquement, de manière à

porter la salinité globale à une valeur prédéterminée. Comme on l'a fait remarquer plus tôt, c'est le rapport entre les substances nutritives des solutions mères qui importe.

TABLEAU 1 Exemples de formules de concentrés nutritifs (en grammes par litre); pour ce qui est des oligo-éléments, voir le texte

	Formules du GCRI*				Formules vendues
	A	D	E	G	dans le commerce**
Solution I					
Nitrate de calcium	97	67	48	18	88
Solution II					
Nitrate de potassium	61	87	104	129	-
Phosphate monopotassique	22	22	-	-	-
Sulphate de magnésium	51	51	51	51	-
Solufeed F	-	-	-	-	147

* voir Winsor, Hurd et Price (1979), p. 28.

** Solufeed F (ICI Plant Protection Ltd., Royaume-Uni).

On trouve au tableau 1 quelques formules de concentrés nutritifs. Dans tous les cas, on prépare deux solutions distinctes, l'une contient du nitrate de calcium tandis que l'autre regroupe les autres éléments nutritifs nécessaires. Il y aurait précipitation de sulphate ou de phosphate de calcium si les concentrés étaient mélangés avant d'être dilués, d'où la nécessité de deux pompes. La formule A a été conçue de manière que le rapport entre le potassium et l'azote soit de 1,5:1. Ce rapport convient à bon nombre de plantes y compris les tomates à leur stade de croissance végétative. Les formules D et E ont un rapport potassium-azote de 2:1, mais diffèrent quant au dosage du phosphore. Il n'y a pas d'apport en phosphate de potassium (comme dans la formule E) quand la concentration

en phosphore de la solution augmente, parce qu'on utilise de l'acide phosphorique pour maintenir le pH. La formule G comporte un rapport potassium-azote encore plus élevé qui est parfois nécessaire pendant le développement des fruits (ceux des tomates par exemple). Finalement, aux fins de comparaison, on donne la formule d'une solution vendue dans le commerce.

TABLEAU 2 Quantité d'éléments nutritifs (en grammes) par litre des concentrés I et II (voir tableau 1)

	Formules du GCRI*				Formule vendue dans le commerce**
	A	D	E	G	
Azote (N)	20	20	20	20	24
Phosphore (P)	5	5	-	-	6
Potassium (K)	30	40	40	50	46
Magnésium (Mg)	5	5	5	5	(**)
Calcium (Ca)	16	11	8	3	15
Rapport K/N	1.5	2.0	2.0	2.5	1.95

* Solufeed F (*ICI Plant Protection Ltd.*, Royaume-Uni).

** Non indiqué par le fabricant.

On trouve au tableau 2 les quantités d'éléments nutritifs (en grammes) contenus dans chaque litre des concentrés I et II. Si l'on multiplie ces nombres par dix, on obtient la concentration (ppm) qu'on aurait si les solutions mères étaient diluées dans une proportion de un à cent. Ainsi, pour la formule A, on obtient des concentrations de 200 ppm pour l'azote, de 50 ppm pour le phosphore, de 300 ppm pour le potassium, et ainsi de suite, soit des concentrations qui conviennent aux premiers stades du développement des tomates et de bien d'autres plantes. Les formules A à G du *GCRI* visent à équilibrer les quantités d'azote, de magnésium et (s'il y a lieu) de phosphore. Les concentrations de phosphore ont été

rajustées pour donner les rapports indiqués entre l'azote et le potassium, et la différence dans les concentrations de calcium découle simplement du choix des autres sels et des autres concentrations. En bien des endroits, l'eau comporte des quantités appréciables de calcium et il arrive souvent qu'on doive modifier la formule de manière à réduire l'accumulation à long terme de cet élément nutritif. Par contre, dans les régions où l'eau est considérée comme "très douce" (faible teneur en calcium), des formules du genre donné en G (tableau 2) ne fourniraient pas une concentration suffisante en calcium. Il serait alors nécessaire d'ajouter du nitrate de calcium, de réduire la quantité de nitrate de potassium de façon à maintenir la concentration d'azote, et de rétablir la concentration en potassium en ajoutant du sulphate de potassium.

f) Outre les principaux éléments nutritifs énumérés aux tableaux 1 et 2, toutes les formules doivent comprendre les micro-éléments essentiels. Exprimées en grammes par litre de concentré numéro II (tableau 1), les quantités appropriées sont: 3,2 g de fer chelaté (Fe-EDTA), 0,2 à 0,4 g de sulphate de manganèse, 0,16 g d'acide borique, 0,032 g de sulphate de cuivre, 0,032 g de sulphate de zinc, et 0,008 g de molybdate d'ammonium. Il est également possible de remplacer ces quantités par une formule d'oligo-éléments vendue dans le commerce. La formule commerciale mentionnée au tableau 1 comprend déjà les oligo-éléments nécessaires.

g) Une troisième solution (solution III), composée d'acide nitrique dilué (à environ 2 %) ou d'un mélange d'acide nitrique et d'acide phosphorique, est également nécessaire. Cette dernière solution est ajoutée au besoin pour ramener l'acidité de la solution aux environs de pH 6. Les grandes installations commerciales sont dotées d'un appareil de contrôle de l'acidité qui déclenche une pompe résistant à la corrosion, dont le rôle est d'ajouter la quantité nécessaire d'acide à la solution. On devrait toujours demander conseil auprès de spécialistes en ce qui a trait à l'entreposage et à la manutention de produits chimiques dangereux comme les acides.

H) Une fois commencée la croissance des plantes sur pellicule de substances nutritives, la concentration des éléments nutritifs dans la solution dépend de l'équilibre entre les engrais, de l'absorption des éléments nutritifs par les plantes et de la quantité d'éléments nutritifs contenue dans l'eau (par exemple, calcium, sodium, chlorure). Dans les installations commerciales de culture sur pellicule, on recommande donc de procéder périodiquement à des analyses chimiques (ordinairement, une fois par mois). Dans les installations plus modestes, il peut être économique de jeter la solution nutritive et de la remplacer toutes les quatre ou cinq semaines, et donc d'économiser le coût de l'analyse.

Les figures 4 à 6 illustrent des types d'installations commerciales et expérimentales de culture sur pellicule d'éléments nutritifs.

Croissance et sénescence des racines

L'un des avantages de la culture sur pellicule, c'est qu'elle permet une inspection facile des racines à n'importe quel stade du développement des plantes. Les plants de tomates par exemple, forment rapidement un réseau de racines blanches. Cependant, au moment où les premiers fruits commencent à gonfler, la croissance ralentit et les premières racines brunissent; c'est ce qu'on appelle la sénescence des racines. Pendant que les vieilles racines meurent et se décomposent, de nouvelles racines blanches font leur apparition sur les côtés des caniveaux.

Cette sénescence peut paraître alarmante, mais la croissance des parties aériennes des plantes semble se poursuivre à peu près normalement. A ce moment, on peut déceler un léger manque de magnésium dans le feuillage; il en serait néanmoins de même si les plantes poussaient en terre. En fait, ce schéma de croissance (sénescence suivie d'une reprise) est caractéristique de la plante elle-même et non de la technique de culture. *En effet, on a pu constater ce phénomène* il y a de nombreuses années chez les tomates cultivées en terre. Le seul trait propre aux installations de culture sur pellicule est la facilité avec laquelle le producteur peut

observer les modifications qui s'opèrent.

Nécrose des racines

Même si la sénescence des racines est un trait commun à toutes les plantes, on a pu remarquer une importante nécrose des racines dans certaines installations de culture sur pellicule. Au début, on a attribué ce phénomène à des mycoses et à des bactéries pathogènes. Plusieurs types de moisissures pathogènes peuvent se développer dans les installations de culture sur pellicule, plus particulièrement les espèces *Phytophthora* et *Phytium*, mais il est loin d'être sûr qu'elles sont les principales responsables des dommages. Il semble plus probable que ces pathogènes aient attaqué les racines au moment où elles étaient déjà affaiblies par des conditions de croissance défavorables. Contrairement à l'époque où les cultures sur pellicule en étaient au stade expérimental, ces cas se font maintenant très rares. Parmi les facteurs responsables des pertes, on trouve une aération déficiente combinée à un niveau de solution trop élevé (caniveaux trop étroits) et à une pente incorrecte ou inégale. La présence d'algues autour des racines et la précipitation de phosphate de calcium sur celles-ci en raison de concentrations excessives de calcium et de phosphate peut également avoir joué un rôle initial dans la nécrose des racines.

Lorsqu'il y a nécrose massive des racines dans une culture de tomates, il faut vider le système et le remplir à neuf. On doit diminuer quelque peu la concentration de la solution nutritive et la chauffer à 23° C de manière à favoriser la croissance des racines. Bien qu'un bon nombre de fongicides se soient révélés néfastes pour les racines, l'étridiazole a donné de bons résultats contre les *Phytophthora* et *Phythium* lorsqu'utilisé à des concentrations de 30 ppm d'ingrédients actifs toutes les quatre semaines.

Naturellement, il faut prendre des précautions dès le début pour éliminer les pathogènes du système. Le fait de couvrir le sol de la serre avec des feuilles de polythène avant de disposer les caniveaux aide à prévenir la

contamination par des organismes qui vivent dans le sol. A cet effet, certains producteurs commerciaux, choisissent de bétonner le plancher de leurs serres. Pour ce qui a trait aux tomates, il est évidemment préférable de choisir des variétés qui résistent aux infections par virus (TMV) de même qu'à la maladie bronzée de la tomate (*Fusarium* et *Verticillium*).

Les avantages de la culture sur pellicule

La culture sur pellicule comporte de nombreux avantages par rapport aux autres systèmes de culture en serre. D'abord, l'arrosage se trouve grandement simplifié; inutile de vérifier tous les jours si les plantes ont l'eau dont elles ont besoin puisque toute la surface en culture est parfaitement irriguée. En outre, il n'est pas nécessaire de déboucher les conduites d'irrigation, tâche qui peut entraîner d'importantes pertes de temps dans les installations commerciales. A cet égard, il ne faut pas oublier que dans les installations serricoles qui se spécialisent dans la production des tomates en Europe occidentale, on trouve jusqu'à 10 000 bouches d'irrigation ou tuyaux perforés à l'acre.

Dans une installation de culture sur pellicule contrôlée de manière satisfaisante, l'apport en éléments nutritifs est toujours uniforme et parfaitement adéquat. Il est possible de corriger les insuffisances rapidement; de plus, les cultures et traitements antérieurs n'ont aucun effet résiduaire sur l'uniformité des cultures en cours.

Puisque les installations de culture sur pellicule ne dépendent d'aucun substrat, il n'est plus nécessaire de bénéficier d'un sol riche et bien drainé. On élimine par conséquent les coûteuses opérations de culture et de stérilisation du sol, ce qui permet de rapprocher au maximum les récoltes successives.

Par-dessus tout, de nombreux essais ont prouvé que le rendement des cultures sur pellicule est supérieur à celui qu'on obtient avec la tourbe, qui est considérée comme le meilleur substrat actuellement disponible pour

la production commerciale. Par exemple, on trouve au tableau 3 des données recueillies par Spensley, Winsor et Cooper (1978) sur le rendement de cultures de tomates sur pellicule et dans la tourbe. En général, les expériences menées sur la production des tomates dans des installations commerciales laissent entrevoir une augmentation moyenne pouvant atteindre 10 %.

TABLEAU 3 Rendement comparé (en kg par m^2) de tomates cultivées sur pellicule et dans la tourbe

Année	Pellicule	Tourbe
1975	34,4	29,6
1976	40,1	32,2
1977	36,1	31,8

Evolution et perspectives d'avenir

Les cultures sur pellicule ont connu des débuts modestes en 1974-1975. Au début de 1979 pourtant, 62 acres vitrés étaient consacrés aux cultures de haute valeur commerciale dans les îles britanniques, et cette superficie augmente constamment. Même s'il ne s'agit là que d'une faible partie de l'ensemble de la superficie vitrée, on peut quand même interpréter cette augmentation comme le reflet d'un intérêt grandissant pour ce nouveau mode de culture. En fait, compte tenu des rendements supérieurs mentionnés ci-dessus, on peut s'attendre à ce que la culture sur pellicule finisse par remplacer la tourbe dans les pépinières modernes.

La superficie consacrée à ce genre de culture à l'extérieur des îles britanniques n'est pas encore connue. Toutefois, si l'on en juge par le nombre de visiteurs qui se rendent au *Glasshouse Crops Research Institute* (GCRI) spécialement pour voir comment on procède et pour discuter de la technique, ce mode de production suscite énormément d'intérêt. La culture sur pellicule de substances nutritives intéresse tout

particulièrement les pays du Moyen-Orient où l'on ne dispose pas toujours de sols qui conviennent aux méthodes culturales conventionnelles et où il est important d'économiser l'eau. On y produit déjà des tomates et d'autres légumes de cette manière sous un treillis protecteur en plastique.

Il faut garder à l'esprit les perspectives d'avenir des cultures sur pellicule. Jusqu'à maintenant, on a connu le succès uniquement avec des cultures de haute valeur commerciale. Dans une étude dont les résultats ont été publiés, on estime qu'il est financièrement plus avantageux de cultiver les tomates sur pellicule que dans la tourbe ou dans le sol. Il n'y a cependant pas d'avantage à recourir aux méthodes hydroponiques pour les cultures de faible valeur quand on obtient déjà des rendements satisfaisants dans le sol. Néanmoins, quand il n'est pas possible de les produire dans le sol, la technique de culture sur pellicule peut fort bien se révéler la solution idéale. Cela est particulièrement vrai s'il est possible de concevoir un dispositif de contrôle de l'alimentation relativement simple, qui puisse servir lorsque la valeur des cultures ne justifie pas des investissements importants dans des systèmes automatisés. Des recherches en cours partent de l'hypothèse que pour une certaine culture, le taux d'absorption des éléments nutritifs et de l'eau correspond à la quantité de lumière solaire dont profitent les plantes. Il semble tout à fait plausible que, pour une culture et un stade de croissance donnés, l'on puisse contrôler l'alimentation adéquatement en faisant correspondre l'apport en éléments nutritifs à l'absorption d'eau, par des vérifications périodiques de la concentration saline totale et des analyses chimiques occasionnelles.

Enfin, il ne faut pas négliger l'intérêt que peut susciter ce mode de culture chez les producteurs serricoles amateurs. Il peut sembler illogique de doter une petite installation d'un appareillage de contrôle de l'acidité et de la conductivité. Tout pourrait cependant changer si l'on mettait au point un conductivimètre portatif et peu coûteux, ne serait-il juste qu'à 10 %. Un dispositif de ce genre permettant de vérifier la concentration saline totale tous les jours, et l'utilisation d'un réactif

en solution ou même de papier réactif servant à déterminer le pH par colorimétrie, mettraient les cultures sur pellicule à la portée des amateurs.

Bibliographie

1 Cooper, A.J. (1975), *Crop production in recirculating nutrient solution*, Scientia Horticulturea, 3, p. 251 à 258.

2 Gericke, W.F. (1929), *Aquaculture, a means of crop production*, American Journal of Botany, 16, p. 862.

3 Gericke, W.F. (1938), *Crop production without soil*, Nature, 141, p. 536 à 540.

4 Hoagland, D.R. et Arnon, D.I. (1938), *The water-culture method for growing plants without soil*, Circular 347, Agricultural Experiment Station, Berkeley (Californie).

5 Spensley, K., Winsor, G.W. et Cooper, A.J. (1978), *Nutrient Film Technique - crop culture in flowing nutrient solution*, Outlook on Agriculture, 9, p. 299 à 305.

6 Stoughton, R.H. (1969), *Soilless cultivation and its application to commercial horticultural crop production*, OAA, Nations Unies, Rome.

7 Winsor, G.W., Hurd, R.G. et Price, D. (1979), *Grower's Bulletin no 5: Nutrient Film Technique*, Glasshouse Crops Research Institute, Littlehampton, Royaume-Uni.

8 Woodward, J. (1969), *Thoughts and experiments on vegetation*, travaux de nature philosophique, Royal Society de Londres, 21, p. 193 à 227.

Aperçu sur l'évolution et la situation des cultures légumières sous serres et abris en France

Robert Brun

Station expérimentale horticole
du Mas Blanc
France

Développement des serres et des abris

Durant toute la première moitié du XX^{e} siècle, les légumes sont cultivés en France dans les ceintures vertes situées en bordure des grandes villes et dans les zones spécialisées qui se sont développées à la fin du siècle dernier parallèlement à la mise en place du réseau de chemin de fer dans les régions où le climat est particulièrement clément, c'est-à-dire en bordure de l'océan Atlantique (Bretagne, vallée de la Loire) et dans le Sud de la France, sur le littoral méditerranéen et la vallée du Rhône.

Les légumes primeurs protégés par des châssis en verre dans la banlieue des grandes villes et dans l'Ouest de la France sont simplement abrités des vents par des haies de cyprès dans les régions méridionales; seules les espèces exigeantes en chaleur, comme le melon et le concombre, sont produites sous châssis dans le Sud.

Ce n'est que dix ans après la deuxième guerre mondiale, entre 1955 et 1957, que les premières serres en verre sont implantées dans la vallée de la Loire. Celles-ci ainsi que les cultures pratiquées sont calquées sur le modèle hollandais.

En 1957, les matériaux en plastique font leur apparition en agriculture. Les premiers essais de paillage et de semi-forçage, bientôt suivis par les grands abris sont mis en place. Une première enquête effectuée en 1963 laisse apparaître les chiffres suivants:

. 200 hectares de serres en verre;
. 50 hectares d'abris en plastique.

Dix ans après, en 1973, à l'apparition de la crise énergétique qui va bouleverser l'économie mondiale, on recense:

. 900 hectares de serres en verre;
. 950 hectares d'abris en plastique.

Durant toute cette première période, les constructions lourdes en verre

se sont surtout développées dans les régions septentrionales et en particulier dans la vallée de la Loire alors que les abris en plastique ont surtout été construits dans le sud de la France.

Conséquence de la crise énergétique, dès 1973, on assiste à un net ralentissement de l'extension des serres en verre dans le Nord de la France alors que le développement s'accélère dans le Sud: on construit des serres en verre mais surtout des abris en plastique.

En 1976, on dénombre:

. 1 150 hectares de serres en verre;

. 2 200 hectares d'abris en plastique.

Au début de l'année 1980, on estime les superficies protégées en France à:

. 1 400 hectares de serres en verre;

. 3 300 hectares de serres en plastique;

soit un total de 4 700 hectares.

Sur ce total, 2 750 hectares sont implantés dans les deux régions méridionales de programme: Provence, Côte d'Azur et Languedoc-Roussillon. Il s'agit surtout d'abris en plastique puisque, dans ces deux régions, la superficie des serres en verre est inférieure à 400 hectares.

Les autres points importants de concentration sont: la vallée de la Garonne, la vallée de la Loire et la Bretagne. C'est donc dans les zones privilégiées au point de vue climatique que les cultures protégées se sont développées. Il faut souligner que, depuis un an, à cause d'une tendance à la surproduction, en raison également de la crainte qu'éprouvent les agriculteurs devant l'entrée de l'Espagne et de la Grèce dans le Marché Commun, pays privilégiés sous l'angle luminosité et température et où les salaires et les charges sociales sont moins élevés, on assiste à un sérieux ralentissement dans le développement de la construction des serres et des abris.

Les différents types d'abris

Il n'existe pas en France, comme aux Pays-Bas, un type de construction standard. En raison de la diversité du climat, en raison aussi du manque de tradition, l'on se trouve en présence de toute une gamme d'abris allant du plus simple au plus sophistiqué.

1) Abris fabriqués sur l'exploitation:
   - . abri simple (piquets de châtaignier);
   - . "jardin couvert", charpente de bois;
   - . tunnel simple paroi, charpente métallique.

2) Abris de type industriel:
   - . tunnel simple paroi: 7,00 m, 8,00 m, 9,00 m;
   - . tunnel double paroi: 8,50 m, 9,00 m;
   - . double-tunnel;
   - . abri multichapelle: a) ventilation statique;
     b) ventilation dynamique.

3) Les serres en verre:
   - . type hollandais;
   - . type méditerranéen.

La quasi-totalité des serres en verre sont équipées en moyens de chauffage. Les abris en plastique par contre, dans 50 % des cas en sont dépourvus; 20 % seulement possèdent des installations performantes permettant de faire des cultures à contre-saison; le reste, soit 30 %, dispose d'un chauffage antigel dont la seule possibilité est d'avancer les récoltes de quelques jours seulement.

Ce sont surtout des générateurs à air pulsé que l'on rencontre fréquemment sous les abris légers. Ce mode de chauffage est encore utilisé dans les serres en verre mais celles-ci sont également équipées en thermosiphon.

En ce qui concerne l'irrigation, dans la plupart des cas, deux réseaux sont mis en place: l'un par aspersion, l'autre par goutte à goutte.

Les investissements à consentir pour la construction des différents types d'abris et les équipements sont donnés en annexe. Est mentionné également le calcul des investissements.

Les cultures pratiquées

Plusieurs espèces sont cultivées en culture protégée. Trois d'entre elles dominent dans la plupart des régions. Il s'agit de la laitue en hiver, de la tomate et du concombre au printemps. A elles seules, ces trois espèces occupent 75 % des superficies.

Les autres espèces rencontrées sont par ordre d'importance: le melon, le poivron, la courgette, l'aubergine, le haricot.

Evolution récente des techniques culturales

Le passage de la culture en plein champ à la culture abritée a entraîné de nombreuses modifications dans plusieurs domaines. Nous citerons:

. La sélection variétale

Les plantes abritées du vent et de la pluie donnent des rendements plus importants et une précocité supérieure. Ces potentialités plus grandes ne doivent pas être obtenues au détriment de la qualité. Ainsi, les petites laitues du type Reine de mai à feuilles minces, à pomme petite et serrée, à volume réduit, ont été remplacées par des plantes beaucoup plus volumineuses, présentant un coeur plus flou et des feuilles épaisses. Les rendements ont été multipliés par trois puisque de 13 tonnes en moyenne par hectare, on est passé à 40 tonnes.

Pour les espèces cultivées au printemps, en particulier pour la tomate, le poivron, l'aubergine, les sélectionneurs se sont

efforcés d'obtenir des fruits présentant une belle coloration, un poids moyen élevé et une grande précocité.

La succession des cultures sur un espace restreint n'a fait qu'aggraver le nombre de parasites d'où la recherche des variétés résistantes.

De plus en plus, les lignées sont abandonnées au profit des hybrides F1.

. La multiplication et l'élevage des plants

Les mises en place à racines nues sont pratiquement abandonnées au profit de l'élevage des plants en mottes ou en godets.

. La conduite des plantes

Le volume de la serre est utilisé au maximum, d'où la tendance à conduire les plantes le plus haut possible et à augmenter la période de récolte pour obtenir des rendements plus élevés.

. Les besoins en eau de la plante

Il est fait de plus en plus appel à la notion d'évapo-transpiration potentielle (ETP) calculée et mise au point il y a dix ans pour conduire les irrigations.

. L'irrigation fertilisante

A l'exception de la laitue qui est encore arrosée par aspersion, la plupart des plantes sont alimentées en eau et en engrais au moyen de l'irrigation fertilisante localisée, distribuée par différents systèmes de goutte à goutte. Si ce système ne présente pas une véritable amélioration sous l'angle agronomique, par contre son automatisation permet à la fois une simplification du travail et une économie de main-d'oeuvre, d'où son développement spectaculaire au cours des cinq dernières années.

. La mécanisation et l'abaissement des coûts de production

En raison de l'augmentation des coûts de la main-d'oeuvre et des charges sociales, les maraîchers s'efforcent, par le biais de la mécanisation, de diminuer les temps de travaux, qu'il s'agisse de la préparation du sol, de la conduite des plantes ou de la récolte.

Les techniques à perfectionner ou à mettre en oeuvre à court terme pour améliorer les productions abritées

Parmi les problèmes qui se posent et qui n'ont pas encore reçu une solution satisfaisante, nous pouvons citer:

. la ventilation des abris;
. le maintien de l'état sanitaire du sol;
. les moyens à mettre en oeuvre pour économiser l'énergie.

La ventilation des abris

Nous avons vu que la plupart des abris réalisés sont des constructions simples. Pour ne pas en augmenter le prix de revient, le système d'aération est très souvent simplifié, négligé parfois. Dans les régions méridionales surtout, à partir du mois de juin, les températures atteignent ou dépassent souvent 30°. Les produits récoltés, en particulier la tomate, mûrissent trop rapidement. La coloration est loin d'être parfaite et la chair manque de fermeté.

Ce manque d'aération est un facteur limitant à partir d'une certaine époque pour obtenir des produits de qualité.

Deux axes de recherche actuellement en cours devraient permettre d'aboutir à des abris mieux aérés, soit en perfectionnant la ventilation dynamique, soit en augmentant le pourcentage d'ouvrants. Dans ce deuxième cas, on se heurte à la violence du vent; les mécanismes d'ouverture et de fermeture sont soumis à rude épreuve.

Le maintien de l'état sanitaire du sol

Les procédés de désinfection chimique n'étant pas suffisamment fiables, la stérilisation à la vapeur atteignant un prix exorbitant, il faut rechercher d'autres moyens pour surmonter le parasitisme du sol: Corky-root, Verticilliose, Fusariose, Nématodes, qui abaisse dangereusement les rendements.

La sélection variétale est une méthode à moyen terme; le greffage des plantes nécessite une main-d'oeuvre supplémentaire et des soins attentifs. Une troisième voie pour se protéger peut être les cultures hors sol.

Ces cultures expérimentées depuis cinq ou six ans se développent depuis trois ans chez les maraîchers. Au printemps 1980, on en recensait 80 hectares dont 35 sur containers tourbe et 35 sur pains de laine de roche, les autres substrats étant représentés par des matériaux divers: pouzzolane, vermiculite et mélange pouzzolane + tourbe. Des essais sur solution nutritive (système NFT) sont en cours d'expérimentation.

Outre le parasitisme du sol, un autre facteur revêt une importance primordiale. En effet, les cultures protégées sont souvent implantées sur des sols lourds, battants, asphyxiants, qui se réchauffent difficilement au printemps. Il est difficile dans ces sols d'obtenir des productions à contre-saison. Les cultures sur substrats procurent alors des avantages sur tous les plans: précocité, productivité, qualité du produit.

Ce dernier aspect est le plus important. La démonstration ayant été faite de la supériorité technique, nous allons nous efforcer maintenant d'étudier l'incidence économique. Les premiers résultats qui se dégagent font apparaître que nous serons dans l'obligation de nous procurer des substrats bon marché. La France ayant peu de réserves en tourbe blonde, il devient de plus en plus difficile de

s'en procurer à l'étranger; chaque année, les prix augmentent dans des proportions inquiétantes. Il convient donc de trouver des substrats localement dans un rayon de 200 km au maximum.

Différents produits minéraux, tels que la pouzzolane, le tuf basaltique ont été essayés; des déchets de l'agriculture, notamment les rafles de raisin et des fibres de lin sont en cours d'étude. L'industrie des matières synthétiques paraît depuis peu de temps s'intéresser à ce problème.

Malgré les bons résultats obtenus, des mises au point s'imposent encore aussi bien sur la manière d'utiliser ces substrats (forme et capacité des bacs) que sur les équilibres et les concentrations des solutions à apporter en fonction de la saison et du stade de développement des plantes.

Les moyens à mettre en oeuvre pour économiser de l'énergie

Pour faire face à l'augmentation des produits pétroliers (fuel ou gaz), une action efficace doit être menée dans le domaine des économies d'énergie. Plusieurs moyens sont ou peuvent être mis en oeuvre. Ils sont différents selon le type d'abri utilisé. En effet, ils ne se situeront pas à la même échelle sous abri en plastique et sous serre en verre.

Abri en plastique

Nous avons vu qu'une superficie importante d'abris en plastique n'est pas chauffée ou est équipée seulement d'un chauffage antigel. Dans ce cas les *matériaux de couverture* jouent un rôle important. C'est sous PVC japonais que les températures minimales sont les plus élevées, elles sont en moyenne supérieures de 1° par rapport au polyéthylène. Les EVA et le polyéthylène infrarouge se situent dans une plage intermédiaire.

Autre procédé très simple: les *protections temporaires*. Le système

qui consiste à utiliser sous de grands abris non chauffés une protection temporaire formée de petits tunnels, type nantais, peut s'avérer très efficace. Il s'agit en effet, dans une enceinte limitée, de créer un microclimat favorable aux plantes. Cette technique employée surtout au début du printemps, permet de protéger les plantes contre le froid durant un laps de temps restreint qui peut varier entre 15 jours et un mois.

Doublage des serres

La pose d'un film plastique en doublage d'une serre en verre ou en plastique permet de freiner la déperdition de chaleur en agissant sur les phénomènes de rayonnement et de conduction convection et en limitant les fuites.

Serre en verre

Il s'agit d'économiser de l'énergie car la presque totalité des enceintes sont chauffées. Nous ne mentionnerons pas les actions à entreprendre sur des installations déjà en fonctionnement pour éviter les pertes de calories ou améliorer le rendement des chaudières mais nous citerons quelques procédés déjà testés ou susceptibles d'intervenir rapidement.

Les *gaines radiantes* présentent le grand avantage de chauffer à la fois l'air et le sol. Ce système qui pose encore des problèmes au point de vue réalisation pratique, présente sur le plan agronomique, des possibilités qui n'ont pas toutes été exploitées.

Les nouveaux matériaux

Verre en double paroi

En raison de son poids (15-17 kg/m^2), il nécessite des structures plus importantes mais il permet des économies de combustible de l'ordre de 30 %. Ce matériau qui s'est surtout développé en Allemagne où il en existe une trentaine d'hectares, n'est garanti que pour 5 ans, probablement en raison d'un encrassement

irréductible.

Verre à faible émissivité (V.F.E.)

Commercialisé sous le nom d'Horti plus, ce type de couverture possède un coefficient de réflexion dans l'IR lointain plus élevé que celui du verre normal grâce à la présence sur la face dirigée vers l'extérieur d'une mince couche d'oxyde d'étain.

Le VFE va tout d'abord permettre une économie au niveau des consommations d'énergie en limitant les déperditions par rayonnement de la paroi de la serre. Par ailleurs, les températures en indice actinothermique peuvent être supérieures de 2° pendant la nuit par rapport à un verre normal. Cependant, comme inconvénients, il y a lieu de signaler une perte de transmission lumineuse de l'ordre de 10 % ainsi qu'une certaine inefficacité par vent fort ou par temps pluvieux.

Polycarbonate

Il s'agit de plaques double paroi de 6 mm d'épaisseur. Sous l'angle dureté, stabilité mécanique, haute résistance aux chocs, il s'agit d'un bon matériau. Un indice de réfraction relativement élevé (1,6 au lieu de 1,52 pour le verre) affecte le rayonnement incident au départ. On manque également d'expérience pour juger des pertes de transmission lumineuse dans le temps.

Polyméthacrylate de méthyle

Fabriqué en simple et double paroi, il présente une transmission lumineuse supérieure à celle du verre. De nouvelles qualités "choc" devraient redresser la légère faiblesse mécanique des formulations courantes. Il s'agit d'un excellent matériau mais qui est très coûteux.

Les écrans

Plusieurs types de toiles (tissées, non tissées, aluminisées) peuvent être utilisés comme écrans.

Le choix d'un matériau va dépendre de l'objectif que l'on se propose d'atteindre: économie d'énergie et ombrage ou bien l'une ou l'autre de cette technique.

L'adoption d'un écran aluminisé imperméable à l'air qui, plus est, réduit considérablement les pertes par rayonnement, s'impose si on ne tient compte que des problèmes d'économie d'énergie.

Par contre, ce type d'écran va réduire les transferts d'eau avec l'extérieur d'où augmentation de l'humidité relative à l'intérieur de la serre. De plus, ils sont souvent trop opaques pour servir d'ombrage.

Les toiles non tissées peuvent convenir aux deux applications.

Dans un essai conduit à Angers sous serre en verre, la consommation d'énergie a été réduite de:

- 25 à 35 % par vent faible;
- 35 à 40 % par vent modéré;
- 40 à 45 % par vent fort.

Dans un essai mené à Alénya sous tunnel en plastique double paroi, la consommation n'a été réduite que de 7 %.

Les résultats présentés ci-dessus ont été obtenus avec une température de consigne de l'air de:

- 20° à Angers (chauffage thermo-siphon);
- 14° à Alénya (air pulsé).

Ces différents matériaux ont fait l'objet aux Pays-Bas d'essais comparatifs plus précis que chez nous. Les résultats obtenus viennent de faire l'objet d'une publication. Ils peuvent se résumer ainsi:

Matériaux utilisés	% d'économie d'énergie réalisée par rapport à une serre verre normale	% de perte par transparence
Ecran	20	5
Verre (V.F.E.)	25	12
Verre (double paroi)	30	12
Polycarbonate	45	15
Polyméthacrylate	50	11

Le supplément de prix par rapport à une installation classique (fourniture du matériau + pose) est de l'ordre de:

- écrans mobiles - variable en fonction du mécanisme de 4,5 à 16 %;
- verre V.F.E. - variable en fonction du mécanisme de 8 à 10 %;
- doublage vitrage - variable en fonction du mécanisme de 30 à 45 %;
- polyméthacrylate - variable en fonction du mécanisme de 35 à 43%.

Placée à mi-chemin entre l'Espagne et les Pays-Bas, la France ne connaît pas les rigueurs extrêmes du climat de l'un et de l'autre: excès de température au Sud, manque de luminosité au Nord. Cette position moyenne devrait nous permettre, sans engager des frais considérables, de maîtriser correctement le climat. Nous avons suffisamment de soleil en hiver mais nous ne sommes pas encore en mesure de l'exploiter correctement. Des essais de capteurs par panneaux ou par gaines sont à l'étude actuellement.

Dans le court terme, d'autres pistes vont également être explorées, notamment les possibilités offertes par la pompe à chaleur que ce soit pour réchauffer le sol en hiver ou pour le refroidir durant la

période estivale ainsi que l'utilisation de la serre solaire. Un prototype est actuellement testé sur la station de Bioclimatologie d'Avignon.

Conclusions

Les serres en verre mais surtout les abris en plastique qui se sont développés en France à un rythme rapide au cours de la dernière décennie poursuivront leur extension mais certainement à une cadence moins rapide. Les résultats spectaculaires obtenus sur le plan agronomique expliquent ce développement.

Aujourd'hui d'autres problèmes surgissent. Parmi eux, citons la crise énergétique, l'ouverture des frontières et la recherche de produits de qualité supérieure.

Nous avons vu, au cours de cet exposé, que des solutions s'offraient à nous mais il ne faut pas se dissimuler qu'un travail important doit être accompli par les laboratoires de recherche et les stations expérimentales avant que ces procédés puissent devenir opérationnels.

Investissements à consentir et amortissements à prévoir en fonction des différents types de serre

	Coût abri ou serre par m^2	Amortissement	Entretien	Total	Observations
I- Abris fabriqués sur l'exploitation					
1) Abri simple, piquets de châtaignier	15 F/HT	2,98	2,00 (I)	4,98	Prêt à 9 % remb. sur 7 ans
2) Jardin couvert - charpente bois	24	4,76	2,00	6,76	Prêt à 9 % remb. sur 7 ans
3) Tunnel simple paroi, charpente métallique	16	3,17	2,00	5,17	Prêt à 9 % remb. sur 7 ans
2- Abris de type industriel					
1) Tunnel simple paroi 7 m	20 F/HT	3,98	2,00	5,98	Prêt à 9 % remb. sur 7 ans
Tunnel simple paroi 8 m	24	4,76	2,00	6,76	Prêt à 9 % remb. sur 7 ans
2) Tunnel double (15 à 16 m de largeur)	32	4,46	2,00	6,65	Prêt à 9 % remb. sur 12 ans
3) Abri chapelle	54	7,55	2,00	9,55	Prêt à 9 % remb. sur 12 ans
3- Serre en verre	100 F/HT	12,40	1,24 (2)	13,64	Prêt à 9 % remb. sur 15 ans

Cet investissement a été calculé pour un groupe de serres ou d'abris d'une superficie de 3 000 à 4 000 m^2.

(1) Changement de film: film longue durée 3 ans - achat 16,00 F/kg - dépose et pose: 2,00 F/m^2.

(2) Entretien des installations évalué forfaitairement à 10 % des amortissements.

Coût des équipements

Coût du chauffage

Air pulsé

Puissance installée: 80 à 100 K cal/m^2 ..... 10,00 F/HT

Puissance installée: 150 à 180 K cal/m^2 ..... 18,00 F/HT

Chauffage thermo-siphon

Puissance installée: 250 K cal/m^2

2 régulations (serre de multiplication et de culture)

Equipement chaufferie: au gaz ..... 40,00 F/HT

au fuel lourd ..... 50,00 F/HT

Installation des tubes:

- si entièrement à la charge du chauffagiste ..... 45,00 F
- si réalisé par l'exploitant ou un artisan ..... 26,00 F

Chauffage par gaines radiantes

Fourniture des gaines et des accessoires nécessaires à leur montage 25,00 F/HT

Amortissement du chauffage sur 9 ans.

Coût de l'irrigation

- Installation simplifiée ..... 8,00 F

  poste de pompage + canalisation d'amenée d'eau

  + irrigation { aspersion / rampe antigel

- Installation sophistiquée ..... 20,00 F

  poste de pompage
  aspersion (programmateur + electrovannes)
  poste de fertilisation
  goutteurs (1 goutteur par plante)

Amortissement de l'irrigation sur 7 ans.

Lighting of protected cultures

André Nisen

Agronome éco-climatologiste
Faculté agronomique de l'État
Belgique

Introduction

It is taken for granted, undenied if not undeniable, that light is one of the factors which limit the growth of the plants grown under glass in winter.

And many an author go about defending the Dutch slogan - of very little shade but high impact -: "to any decrease of light by 1 % in a glasshouse in winter corresponds a one - or more - percent of loss of yielding... !"

Of course, winter insolation in our countries is not enough to maximalizer the photosynthesis of the plants that are grown from October to March. But the problem of light under glass is by no means a one-sided question.

The problem must be analysed thoroughly in its true context. Anyway it cannot be viewed alone: *light* and *temperature* cannot be dissociated. Considering them as a pair makes a wiser reasoning and leads closer to the true question that the practitioner has to deal with.

In this paper, we will more often that not consider the *light/temperature* interaction and we will avoid limiting ourselves to considerations - that would certainly become too theoretical - on the problem of the lighting of protected cultivations.

2 *Glasshouse lighting - Generalities*

2.1 Theoretical maximum yielding - economical yielding

The Yieldings under glass should not be supposed to reach the maximum that can be obtained but to be economically profitable.

In Montréal the global insolation on ground level in December does not exceed 17 % of the one observed in June (cf. figure 8); in winter the sun forms an angle of some 21° max. (whilst it forms one of 68° in June) and daylight (potential lighting) ranges about 9 hours whilst it reaches about 15 hours at the beginning of summer.

Obviously these conditions bar any comparison between crops grown in winter, even under glass, and crops grown in the open air in summer.

However winter productions may exceed 1/6 of the summer ones. Indeed physiologists have produced the evidence that, under the best conditions, only about 2 % of the light energy caught by the leaf really helps to build dry matter.

However the leaf index of the plant is to be considered, it is to say the *leaf surface/ground* surface ratio.

A leaf index of 5 is commonly held to enable an optimum use of the light. Now this index corresponds to the one of a cultivation of tied cucumber at glasshouse eave, or of a cultivation of 20-leaf adult tomatoes.

Young plants in nursery, a "horizontal leaded" melon, have a leaf index ranging the unit.

On the other hand, a leaf index superior to 5 is to be taken as in excess since it leads to the yellowing of the least exposed leaves

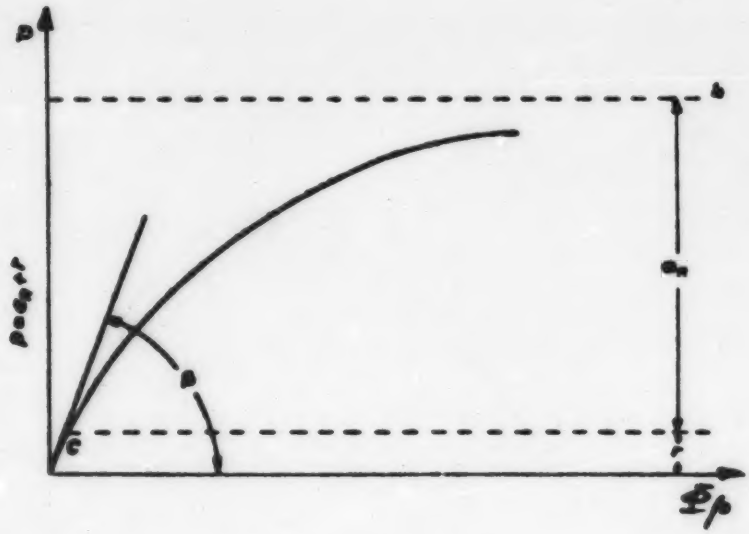
(more-than-20-leaf tomatoes).

2.2 Theoretical photosynthetic efficiency

The photosynthetic efficiency of sun radiation does not grow indefinitely with the light energy caught by the plant. For CHARTIER and the "School of Versailles", when any other climate factor remains at its optimum, the photosynthetic output of light increases exponentially and asymptotically up to the so-called saturation value. If such is the case, beyond a determined insolation, the efficiency of radiation does not increase any more.

Figure 1

Raw photosynthesis depending of the flow used. (CHARTIER AND AL.).



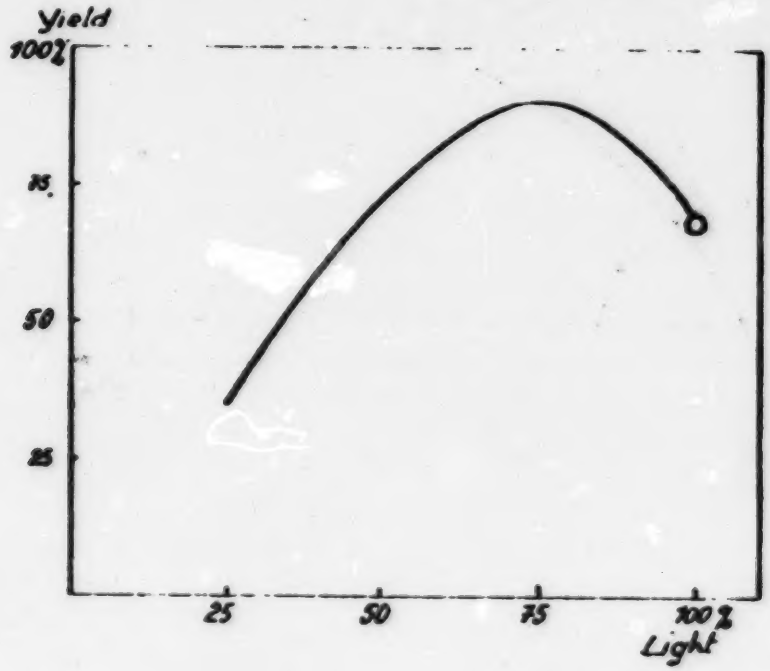
For others, who include in the curve which illustrates the phenomenon the action of the T^{o} (if not even the one of the water balance of the plant), beyond a given energy level the light has a negative action on crops.

Basically the two theories are alike as either of them takes other factors of the climate into account though they do so in different ways.

Anyway the photosynthetic output is higher in weak insolation than in strong insolation. KLAPWIJK gives the following figures: 80 % of the maximum light intensity known in our climates give 800 to 1 000 gr of fresh matter per m^2 per week; on the other hand, in winter 10 % of the maximum light intensity give 120 to 160 g/m^2/week.

Figure 2

Yielding of plants depending on the light received.



2.3 Practical photosynthetic efficiency

The practical side of the problem entails the inclusion of the study of the influence of the other factors of the climate into the analysis (see above).

It is not useless reminding the two graphs below which are classical and represent the phenomenon fairly accurately.

These graphs need no comments... though they make it clear that the behaviour of the various species and varieties grown varies quite a lot and that the agronomist needs a number of physiological and eco-climatological data that the research worker is not in a position to provide. We may wonder whether this lack of knowledge rather than the lack of light is not the limiting factor of winter cultivation under shelter...!

Figure 3

Effect of energetic lighting and of CO_2 (C) concentration on net photo synthesis per unit of leaf surface (Pn) for a Trifolium pratense leaf (Warren-Wilson).

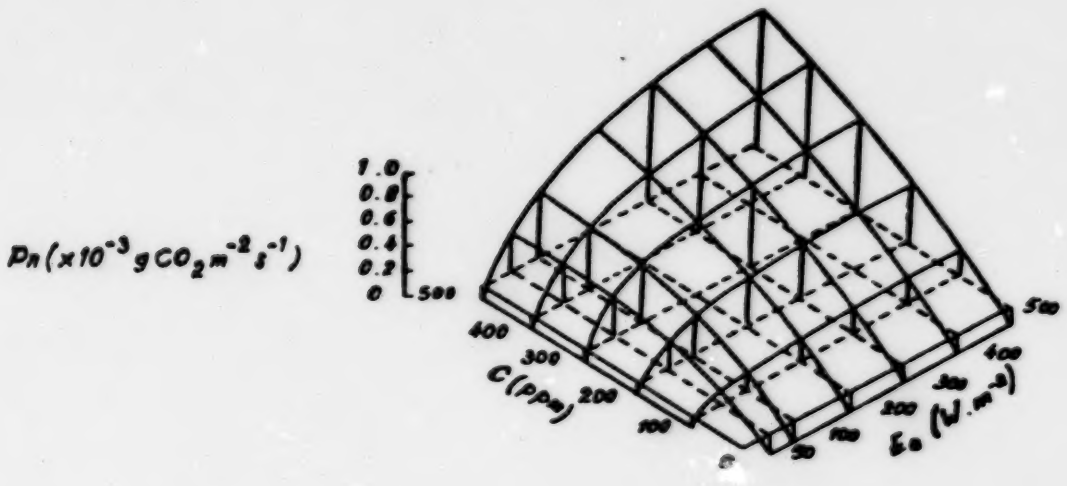
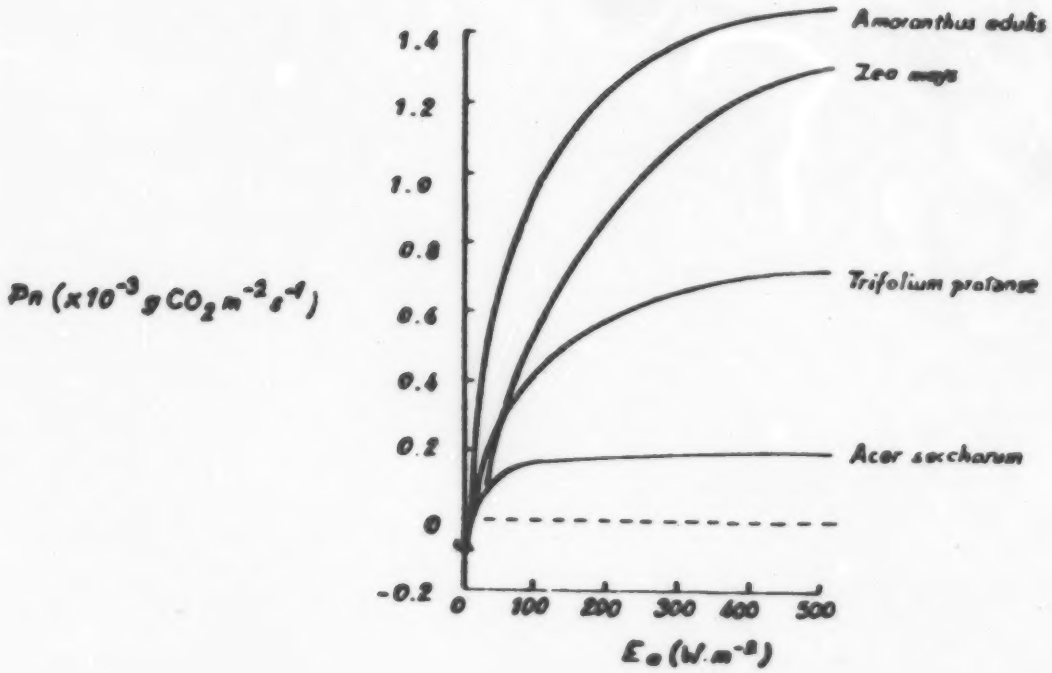


Figure 4

Effect of energetic lighting (for a CO_2 concentration= 300ppm) on net photosynthesis per unit of leaf surface (Pn) for the leaves of 4 different species.



2.4 Plants to grow (according to their needs)

The light requirements vary from plant to plant: the level of saturation given in figure 1 corresponds to insolations which differ with the plants.

It is definitely higher for high photosynthetic capacity plants (does it mean plants which require much light ?) than for low photosynthetic capacity plants (which require little light ?).

Does cucumber need fairly little light for a good photosynthesis because it "assimilates well" ? And what about melon ? Does it require strong light intensities because it is a "bad assimilator" ? This is a very complex problem that should be left to physiologists, as indeed - practitioners know it very well - if cucumber has small light requirements, on the other hand, it has high relative dampness requirements whilst melon, which requires more light, is satisfied with smaller relative dampness.

This observation points out how dangerous it is to survey the influence of only one factor of climate on the plants. Anyway when one is forced to grow vegetables in little sun, it is a prerequisite to choose varieties and even species that have *limited light needs*. The Belgian practitioner knows perfectly well that Dutch tomatoes require much less light than the Mediterranean varieties, that the most appreciated roses are also the most requiring in light. Are we not bound to opt for better varieties even if the grower, seeing the requirements of cultivation, has no alternative but to try to change the consumers' taste, unfortunately too often based on subjectivity ?

In a similar way, the *species* grown in winter in the countries where insolation is poor should be given reconsideration: is it wise to keep to the production of (bad) tomatoes in winter in our climate, when other less requiring "raw vegetables" could perfectly meet the needs of the consumers" organism (lettuce, cucumber, radish...) ?

Here too, from a practical point of view, the problem should be seen quite differently: the cost of production should prompt the consumer to be satisfied with vegetables to which he is less used but the production of which would be decent considering the present crisis.

2.5 Time of production

On the other hand, as the grower is hardly likely to change the consumers' requirements in the near future (a simple reason is that he has no control on prices) he will have no option but to give full attention to his *cultivation planning*. He is probably bound to change the times of production.

To produce tomatoes very early (February-March) in Belgium means planting them in a glasshouse as early as December. This technically speaking is difficult since growing occurs just when light lacks most. Economically speaking it is unjustifiable since it implies high temperature heating during the coldest months of the year; but the last years, this type of cultivation was just giving the highest profit, in spite of the fuel price ! If plantation is delayed by one month, production will be delayed by three weeks and heating costs will be cut by 20 to 25 % (no need to say that the quality will be much superior).

2.6 Production areas

In the third part of this lecture the expectable potentialities of the various Canadian areas are featured - theoretically - as regards glasshouse cultivation.

It is not too difficult to locate the areas favourable to winter cultivation under shelter. But the point is to choose them practically, keeping out the others, because of the human factor which overturns more than one theoretical reasoning. This is the whole problem of glasshouse cultivation in the Common Market: the Mediterranean growers feel that they are in a better position (to

carry out glasshouse cultivation in winter) than their colleagues of the more northern or continental regions. Their basic argument is the winter climate which prevails on the spot (sunnier and less cold). But this looks a simplified if not simplistic approach of the problem. (How do they fight against the winds which have gained a reputation ? Do they have enough water and enough good earth ?).

Surveys in that field are carried out by the Common Market.

In case the southern countries of Europe should be rated better than any other country as regards early production (under glass), there would appear many acute problems: the recycling of the specialists in protected cultivation of northern Europe (of much greater experience than their counterparts in that field since they have been working in it for a longer time and whose huge investments are far from being completely written off...); transport from the Mediterranean regions throughout Europe. This takes us back to the problem of energy, mainly in the case of fragile crops that hardly stand long trading delays.

The same reasoning should be held regarding the position of the Common Market relatively to the would-be, more southern, members.

Now, the European Community is so small compared to countries the size of Canada, 350 times as large as Belgium! Therefore, the problem of winter cultivation under glass in Canada sounds much more acute.

2.7 Light and the glasshouse itself

Two main factors are to be considered:

- the design and building of the glasshouse and
- the nature of the covering material of the shelter.

2.7.1 Design and building of the glasshouse

Let us remind briefly that preference should be given to:

a) glasshouse with steep-pitch roof: better than flat-roofed shelter.
b) hemi-cylindrical glasshouse: better that low-curved shelter.
c) detatched glasshouse: better than joined glasshouse.
d) wide and high glasshouse: better than low and narrow shelter.
e) E-W orientation for winter crops, N-S for the other ones.

We will not devote much time to the development of these considerations though they would be worth it but they are sufficiently known to everybody.

2.7.2 Covering material of the glasshouse

Two problems are undoubtedly closely linked:

- optimal light balance of a glasshouse and
- maximal energy saving.

This leads us back to the consideration exposed in the Introduction of the present paper (paragraph 1).

Contrary to what the slogan mentioned there asserts, nowadays and whatever the place, light does no longer act as a limiting factor and need no longer be given absolute priority. Indeed heating and energy saving are first in the field now.

To consider the first factor only is not realistic: it is of paramount importance to spare a maximum of the energy necessary to produce winter crops under shelter. This requirement leads to investments in the field of "insulating covering materials" and, in some cases, to accept a lenghtening of the growing time due to a reduction of the light available. Before claiming "ex abrupto" that insulating materials are to be rejected because of the additional loss of light they cause (compared to traditional single glazing) it is wise to draw up a *financial balance*.

TABLE 1 Average translucence (in %) for the various types of radiation of some single or combined (double walls) materials and their corresponding thermal conductivity coefficient (k) (Personal values based on N.B.N. 894)

Nature of the covering material	Thickness (in mm)	Direct sun radiation		Total diffused radiation		Long infra-red	k (W/m^2) (followning Tantau)
		visible	total	serene sky	overcast sky		
Short-lived P.E. film	0,1	90	91	88	89	78	7,7
Long-lived P.E. film	0,1	89	88	71	82	75	7,6
Non wired P.V.C. film	0,1	92	91	85	89	32	7,2
Wired P.V.C. film	0,15	76	74	65	73	16	7,-
P.V.C. sheet	1,1	89	88	73	85	6	6,8
E.V.A. film	0,1	88 - 92	88 - 91	72 - 82	75 - 85	38 - 50	7 - 7,4
Reinforced polyester	1,1	90	87	71	83	4	6,6
"Horticultural" glazing	3,4	91	89	84	87	0	6,4
Glass	6	89	81	76	71	0	6,3
Double glazing (hort. glasses (10 mm dry air)	3,4+3,4	82	80	77	83	0	3,3
Hort. glass +P.E. film	3,4+0,1	84	83	77	80	0	4,4
Hort. glass +P.V.C.	3,4+0,1	85	83	75	81	0	4,0
Hort. glass +"bubble" P.E.	3,4+2	78	76	62	70	0	3,8
P.E. +10 mm air P.E.	0,1+0,1	83	83	77	79	66	5,8
P.M.M.A. (ribbed double wall)	8 - 16	82 - 88	78 - 85	66 - 83	63 - 80	0	4 - 3,1
P.C. (ribbed double wall)	4 - 6	77 - 79	77 - 79	57 - 60	59 - 61	3	3,2 - 3,8
P.P. (ribbed double wall)	3 - 5	73 - 77	74 - 78	55 - 58	54 - 58	26 - 37	4 - 4,7

N.B. The values correspond to materials of various manufactures

P.E. = polyethylen
E.V.A.= vinyl-acetate ethylene
P.C. = polycarbonate
P.V.C. = polyvinyl chloride
P.M.M.A. = methyl polymetacrylate
P.P. = polypropylene

On the one hand some factors have negative effects on the profitability of the crops:

- the high cost of the insulating materials (e.g. double-polyacrylate or polycarbonate wall) and perhaps of the glasshouses themselves;
- the probable delay in harvesting (compared to single glazing); lengthening of the growing period due to a reduction of the light available;
- the lowering (quite exceptional in northern Europe) of the quality of the crops (only in the case of "light needed roses".

On the other hand one aspect favours the use of insulating materials: the economy of fuel.

It is only when the two sides of the problem have been compared, i.e. when the financial balance for a well-determined particular case has been drawn up that it can be decided whether such materials are justified or not. Automatical and arbitrary rejection of such materials simply because they reduce the light available is unthinkable: it is by no means objective !

The table 1 annexed herewith outlines the features of the various materials marketable throughout Europe that are likely to reduce the fuel necessary to heat winter crops.

It should be pointed out that if some of the materials - thanks to their rather low "k" - value - reduce fuel consumption by up to 50 % (as compared to single walls), they are also useful as covering materials of non-heated shelters; they increase the thermal balance of those shelters but unfortunately they do not spare the crops frost.

We dwell on the advantage - and on the originality - of the method

used (NBN 894):

- *on the one hand,* to calculate the average values, it takes into consideration the importance of each of the individual radiations considered for the various corresponding wave length. The averages are weighted and not simply arithmetical.
- *on the other hand,* it considers the case of diffused radiation both by overcast and serene sky and in that way it makes it possible to have a closer approach of the problem as transmission - or reflexion - differences are shown between direct and diffused radiations depending on the material.

2.8 Light excess - Summer actions

We have just seen that shading comes among the horticulturist's first worries. Some progress has been achieved lately and is particularly noticeable in that the technique of screen unwinding in glasshouses has found its full justification with the present crisis through the importance of the canvases in the search for energy saving (night unwinding).

2.8.1 Shading

Obviously a good shading must fulfil the following conditions. It must be:

1 *cheap* (or likely to be paid back) by an auxiliary use (protection from cold);
2 *selective* i.e. it must not eliminate the rays useful to the photosynthesis, but it is supposed to prevent the solar infra-red from reaching the plants;
3 *colourless* (or white) i.e. it should not decrease the intensity of certain visible rays more than the intensity of others; indeed, for the time being, the various visible rays cannot yet be proved photosynthetically efficient for all the plants cultivated;

4 *adjustable in intensity:* to unwind a screen which suppresses 75 % of the visible, as soon as the insolation is too high by a few per cents, is nonsensical and decreases the photosynthesis. This principle presently justifies the use of a mobile screen made of two canvases of (rather) low absorbent (or better, reflecting) power: it enables to adapt shading to the real needs and to achieve better night insulation;

5 *temporary* i.e. removable: permanent shading decreases photosynthesis when the weather is overcast and is thus harmful to the crops;

6 *not cumbersome* i.e. if the canvas is to be rolled in the glasshouse when not in use, it cannot cause a perceptible fraction of the incident radiation to be eliminated;

7 *reflecting* rather than absorbing in order to avoid a harmful action upon the thermal balance of the glasshouse. We deem this of paramount importance (cf. table n° 2).

N.B. Very few shadings fulfil these conditions !!

2.8.2 Thermal screens

In glasshouses devoted to the cultivation of ornamental plants, these are of such great worth that more important investments are perfectly justified, namely the placing, inside the glasshouses, of screens which (as said in paragraph 2.8.1) operate both as day shading and night insulation.

A quite different methodology develops slowly, relevant to:

- the disposition of screens *inside* the glasshouses in order to achieve a maximum insulation (and no longer outside the glasshouses, as was tried some time ago);
- the use of screens likely to create selective shading while enabling less *night losses* of heat;
- the search for screens which *reflect* the solar and I.R. radiations rather than absorb them...

TABLE 2 Photometric features of some thermal screens used both as shading and night insulation

Nature of the screen	Visible radiation				Total sun radiation		Long I-R	
	Direct radiation		Diffused radiation					
	T	R	Serene sky	Overcast sky	T	R	T	R
Acryl + polypropylene, 50 %	45	54	38	33	44	52	4	3
Woven polyethylene	56	44	49	43	61	36	58	5
Polyester	62	36	54	47	63	35	6	2
Acryl. 60 %	44	50	37	32	45	51	8	2
White Acryl., 50	34	45	28	23	45	44	16	2
Grey Acryl. 75	43	24	46	40	53	34	14	2
Red Acryl.	28	18	18	15	42	30	7	2
Orange Acryl.	28	16	20	17	44	32	11	2
Reflecting aluminized								
- black sided	0	4	0	0	0	4	17	3
- white sided	0	80	0	0	0	63	17	3

T = transmission R = reflexion

This very one topic could keep us busy for some hours as it ranks first among research and extension service.

Personally we have developed a method for the featuring of these screens; it is also based on the NBN 894 which was developed some years ago to help determine the properties of (special) glasses used as glazings for buildings.

We feel it superfluous to insist here on the importance of the knowledge of the behaviour of these screens towards diffused radiations.

N.B. The absolute values of the date given below are of little significance. They are only given as an indication mainly to show that some radiations are reflected more than others by some materials.

Let us note that in the present state of our knowledge, the coloured materials prove to be less efficient than white ones mainly because they absorb (thus transform into heat) a larger part of the visible solar spectrum.

3 Lighting and protected cultivation in Canada

In the pages which follow and on the only basis of a certain amount of meteorological data, we will try to feature the Canadian climate as we see it and to use our experience in Europe to forecast its potentialities in the field of protected cultivation.

It goes without saying that the following conclusions are quite theoretical and are given only as an indication. To be improved and made more accurate, they would require "a Canadian experience" which we are far from having gained...!

3.1 Generalities

Starting from the unfortunately uncomplete climatic data published by H.E. LANDSBERG in "World Survey of Climatology", (vol. 6, 7 and 11), we have been able to define, maybe in a rather rough - but, we feel, interesting - way the light and thermal climate of some regions of Canada, according to the methods we have been applying for about 20 years to the European climate.

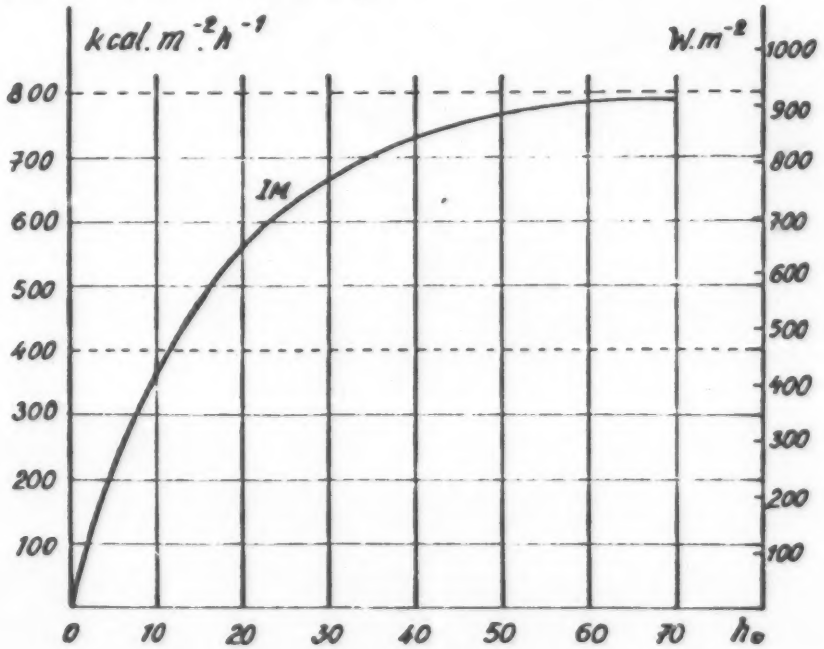
The comparisons between sites which we present below are certainly not accurate in absolute value. Indeed the relation between the duration of insulation and the energy received varies with the maximum height of the sun, thus with the latitude; however their significance is not to be neglected.

TABLE 4 Maximum height (in degrees) of the sun on the 20th of each months, as a function of the latitude

latitude / month	40°	45°	50°	55°	60°	70°
October	40	35	30	26	20	11
November	30	25	21	15	10	0
December	26	21	16	11	6	(-3)
January	30	25	20	15	10	0
February	39	34	29	24	19	9
March	50	45	39	35	30	20
June	73	68	63	58	53	43

Figure 5

Maximum energetic lighting of the sun radiation as a function of the sun height above the horizon (clear sky).

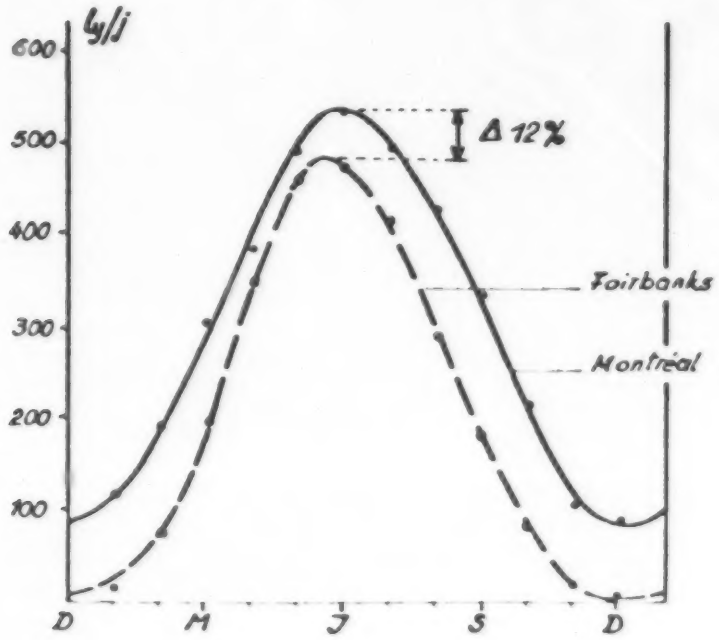


It can be seen at a glance that the energetic lighting of the sun radiation increases proportionally to the height of the sun above the horizon when it makes an angle inferior to 20°; after that its increase as a function of the sun height falls down for average values of the height. Finally it levels when the sun forms an angle of 45° with the horizon, which is the maximum altitude reached by the sun under our climates, end of March, beginning of April.

Also it is interesting to note that for any two stations located at different latitutes, equal lenght of insolation does not mean identical energetic lighting.

For instance, in Fairbanks (64° lat.), a monthly maximum summer insolation duration of 334 hours (= 132 % of that of Montréal) leads only to a global maximum radiation on ground level equal to 83 % of the one recorded in Montréal (45° lat. 253 hours of maximum summer insolation) (cf. fig. 6 and 8).

Figure 6 Global insolation at ground level in two Canadian stations.



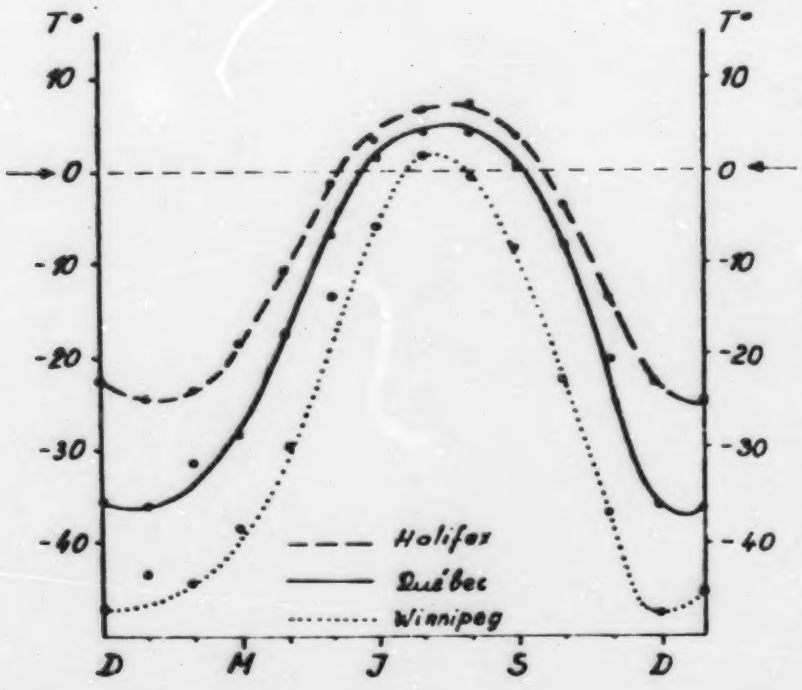
Moreover the photosynthetic efficiency of these insolations also varies, which makes the forementioned lack of accuracy acceptable; indeed we try to draw some general principles rather than to quantify differences.

As an indication, we think it useful to give, at fig. 7, the T° minima recorded at various places in Canada.

3.2 Heliothermal diagrams (fig. 8 and 9)

First of all, they give an appreciation of the *real insolation* received (continuous lines) expressed in hours per month at some Canadian stations and at two European reference ones. Then they clearly show the important differences recorded not only at different latitudes but also at equivalent latitudes depending on the longitude (more or less continental character of the climate).

Figure 7 Monthly minima recorded in various stations in Canada.



-1 F3

Moreover, these graphs show the general trend of the evolution of the *monthly average* T^o as well as an estimate of these temperatures on the 21st of March and 21st of September. These data enable a good characterization of the climate of the region at equinoxes. For equal (Québec, Ottawa, Edmonton...) or slightly different (Montréal, Toronto, Halifax, Lethbridge...) light conditions, the difference in average T^o between the two selected dates is puzzling. Any cultivation in glasshouses is conditioned by this observation !

N.B. 1 In the extreme southern Canadian regions (Toronto) or the more northern ones (Juneau and a fortiori, Fairbanks) a sharper insolation difference between equinoxes is recorded to the advantage of autumn in the south and of spring in the north.

2 Most of the sites considered actually appear to get less light in June than what the general trend of the graph would make us belive.

3.3 Comparison between Canadian and European climates

Figures 10 and 11 give an easy comparison between the luminous climates of Canada and their correspondant Western European ones (same latitude and more or less equivalent longitudes).

Figure 11 shows the actual average winter and summer insolations recorded from 1931 to 1960 in some thirty stations spread throughout the country. This has made it possible for us to draw a provisional line for the isohel 600 (600 hours of sunshine from October to March). Let us remind that, in Europe, the same isohel approximately follows the 47th parallel and we assign it an important significance...

Arrows show - in the same figure - the approximate direction of the prevailing winds from October to March.

The two values given under a town (for instance Montréal 599/1253) mean that, for the 30 years mentioned, winter insolation (from October to

Figure 8

Heliothermal diagram of some regions of Canada compared with this of GEMBLOUX (B).

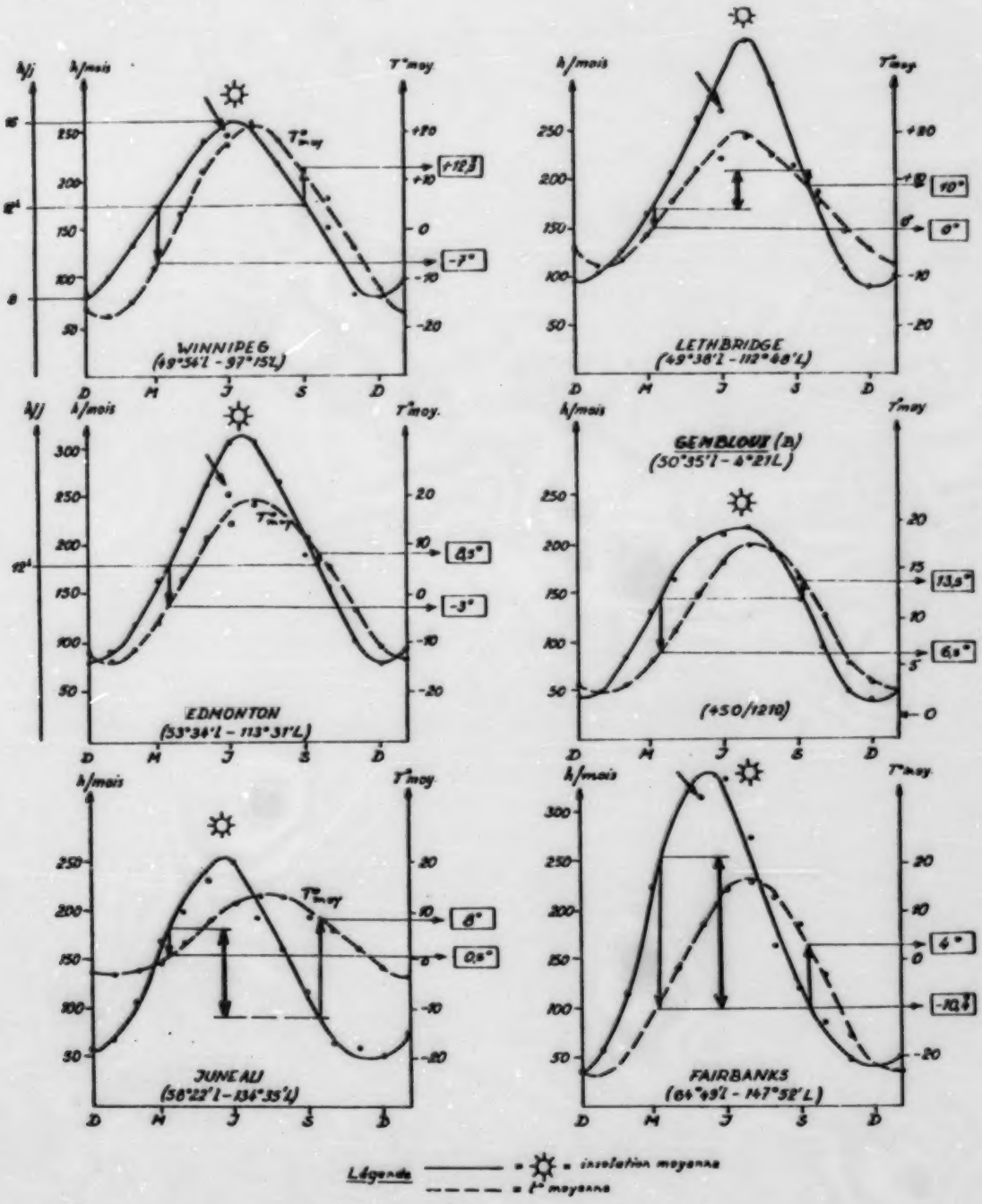


Figure 8

Heliothermal diagram of some regions of Canada compared with this of NICE (F).

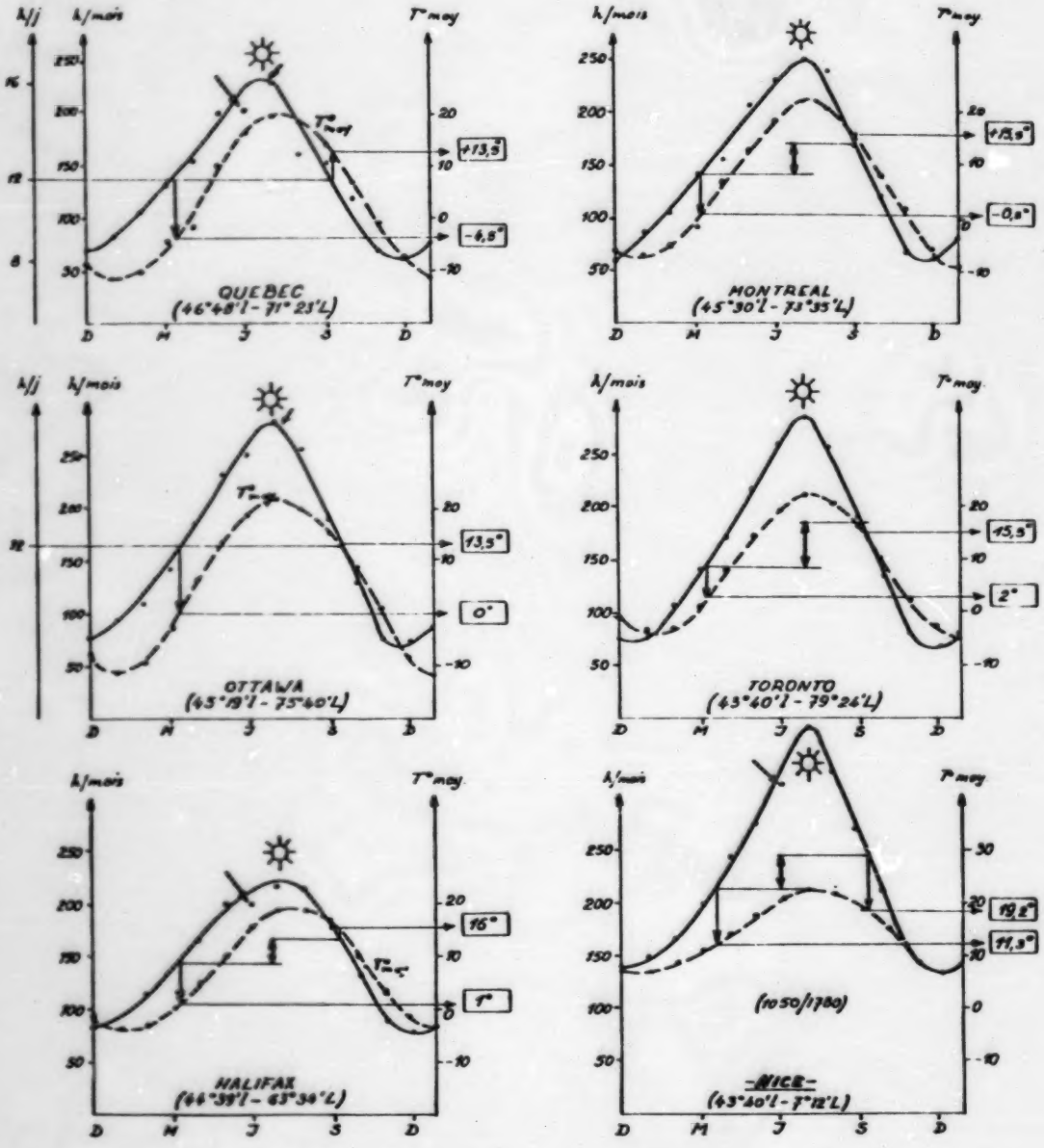


Figure 10

Location of some Canadian stations compared to their European counterparts (taken as reference).

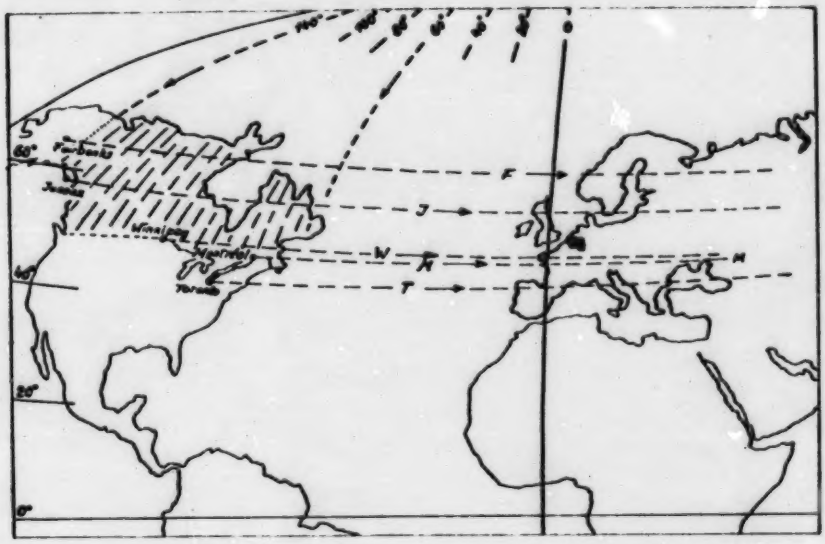
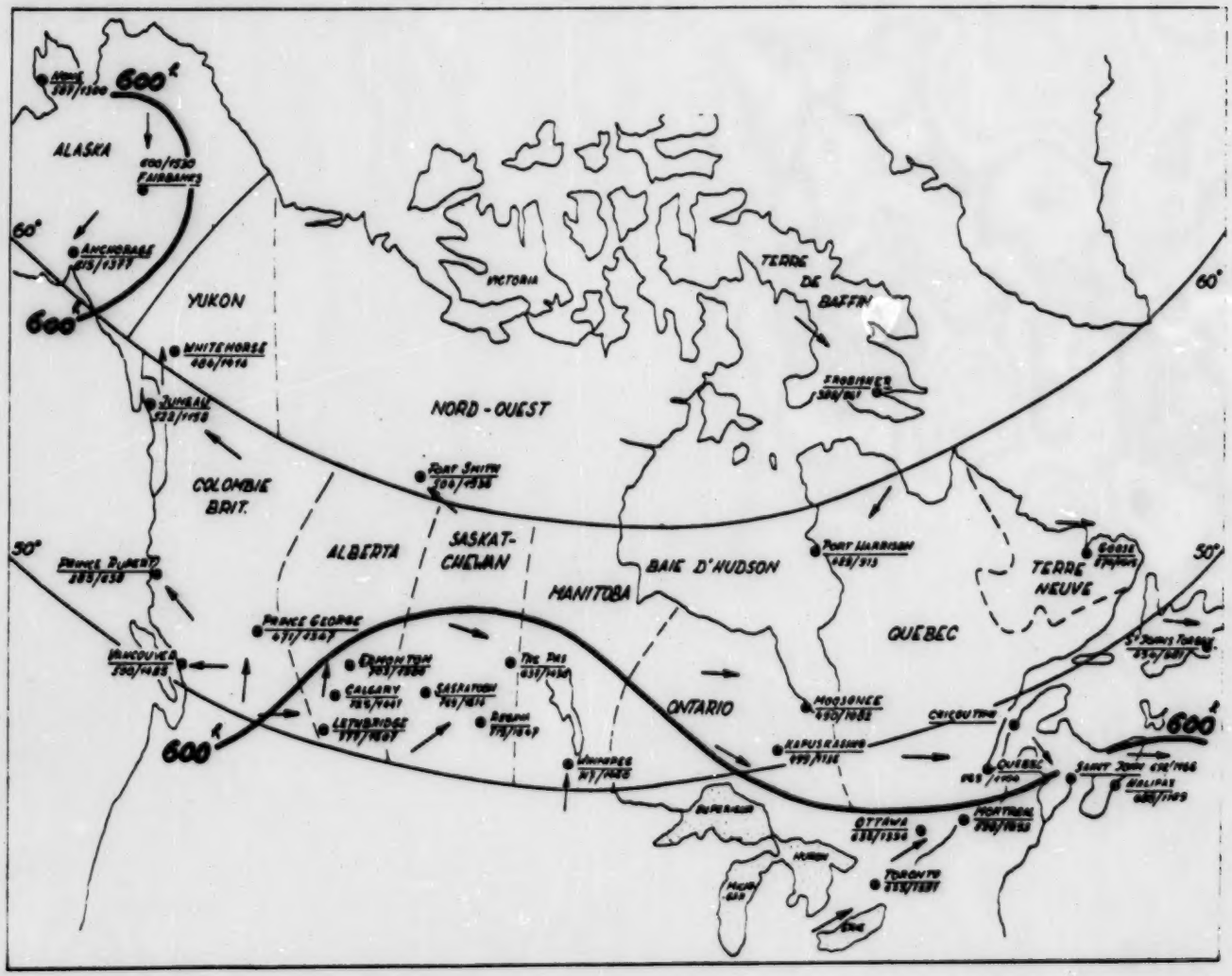


Figure 11 Features of the insolation received in some regions of Canada.



March) averaged 599 hours and summer insolation averaged 1253 hours.

TABLE 5 Actual insolation from October to March (in hours) of some Canadian regions and of their European counterparts

CANADA			EUROPEAN references		
REGION	Actual insolation		REGION	Actual insolation	
	Winter	summer		Winter	summer
Toronto	635	1391	S. of France	1050	1900
Halifax	688	1185	S-W of France	650	1350
Ottawa Montréal Québec	633 599 563	1356 1253 1104	S-W of France	650	1350
Winnipeg Lethbridge	717 777	1460 1607	N-E of France	550	1250
Edmonton	703	1500	S. of Belgium	450	1150
Juneau	522	1158	S. of Sweden	400	1050

The winter *luminous* climate of the southern regions of Québec - apart from Toronto area - is quite similar to the corresponding climate of French regions of comparable latitudes. Its potentialities of cultivation in glasshouse from October to March may be estimated to equal those of similar geographic situations in France.

A more maritime (Halifax) and principally a more continental (Winnipeg, Lethbridge or Edmonton) location is definitely more favourable to

cultivations than the West counterparts chosen as references (as far as it concerns the insolation).

3.4 Some Conclusions

The total luminous energy received at a given place and time does not suffice to define the problem.

The distribution of such energy along the day seems to us an important parameter which leads us to consider the influence of the length of the day and of the height of the sun above the horizon.

3.4.1 Winter period

Days are shorter in *high latitude* regions than in medium latitude ones. For an equal amount of solar energy the instantaneous insolation may be estimated stronger at high latitude than at lower latitude. It means that the plants dispose (for a time of the day that may be short but nevertheless appreciable) of a luminous energy sufficient for an active photosynthesis. To a certain extent, this fairly high value of the energy received compensates for the rather short insolation duration. In other words, if indeed the days are short, the active photosynthesis is possible and the harmful consequences due to the use of insulating covering materials are reduced (cf. further).

The *South of Alberta*, of *Saskatchewan* and of *Manitoba* seems at first sight to benefit from a fairly favourable winter luminous climate.

On the contrary, the winter availabilities of light in *south Québec* (Ottawa is located about 500 km more southwards than Lethbridge) seem to us - as far as we know - less favourable to forced cultivations under shelter fitted with insulating covers (compared to the selected European counterparts). At best, from October to March, they benefit from insolation potentialities

equivalent to those of more westwards regions. But the slightly longer winter insolation lets foresee instantaneous (average) illuminations which are a little shorter than in the prementioned regions: thus the winter crops are not sure to be produced through the same techniques.

At last the *extreme south of Canada* (Toronto) does not seem sunnier in winter than the north-east of the Grand Lakes. This, added to its geographic situation, makes it less able to compete with its European counterparts. At most, its winter crops are likely to compare with those of the above mentioned regions (the difference of average T° being excluded).

3.4.2 Summer period

The conclusions reached on examination of the above values differ a lot for the period convering April to September.

Though insolation in the *extreme south* (Toronto) and even in the *extreme south-east* (Halifax) of Canada is weaker than in the selected European reference regions - it still suffices. However it seems likely to avoid excessive temperatures in glasshouses, as indeed its external average T° is not so high as in the south of France.

Lighting seems alike in the *South of Québec* and in the South-West of France. This - given the difference of average temperature - seems to favour the protected summer cultivations.

The summer luminous climate of *South-West Canada* seems for us to range from favourable to very favourable, even and maybe mainly because of its thermal conditions.

3.5 Remark

This analysis appears as quite theoretical and demands a definite

confirmation; but it could draw the main lines of the technique of cultivations under shelter as well to what is relevant to the design and the building of these shelters as to the very ways of cultivations. To a certain extent this analysis thus defines the potentialities of the Canadian regions (towards Europe) from a point of view of production under shelter.

Of course there is no common measure between the temperatures recorded in Canada and in the European counterparts; the average temperature in Canada is definitely lower.

But if the economic problem (heating...!) is left aside and if every endeavour is made to determine the theoretical potentialities of cultivations under shelter from October to March, the South of Canada will look much like Western Europe and at first sight some regions look even more favoured.

So, though they are scarce, the climatological data at our disposal allow us to say that in some regions of Canada the use of more insulating materials (double glazings) can compensate for the poorer thermal balance (compared to the balance of the corresponding regions), if such materials some what decrease the availabilities of light, at the same time, they also decrease the needs of heat to a large extent.

The insolation of the *South of Alberta* is higher than that of the North-East of France by 40 % and higher than that of the South-East of France by 20 %. Other things being equal, it is thus possible to use there insulating covering materials which, by at least halving the needs in energy - and hinging them to the level of those presently recorded in Europe - will make it possible to achieve quite satisfactory farming results.

4 *Conclusions*

A certain number of other practical conclusions can also be drawn from the above study.

In fact rather than repeating them here - we have evoked them in this paper - we prefer to insist on the complexity of the problems that are raised when studying *light* in glasshouses and to say how necessary it is to be very cautious when expressing one's opinion on the above topic.

Much a "priori" is met in this field and the conclusions that are drawn are often subjective; in many cases they are the results of a lack of information or... of the pursuit of a commercial aim...!

The problem of light in glasshouses goes far beyond the technical field and must be considered at a *human, economic* and even maybe at a *political* level because it meets the problem of winter heating of shelters and determines, to a certain extent, the areas of winter production of vegetables or of ornemental plants.

If the search for maximum light in the glasshouses in winter constitues the first aspect of the problem, limitation of the drawbacks of excess of solar energy (and not of visible light !) during the sunnier months appears as important. At that level, shading is a harm - necessary maybe - which should not be used until all the other less harmful possibilities have been exhausted.

At last, all along the present work, it appears that, for the time being, the physiological data are still inadequate: the quantitative - and sometimes even the qualitative - reaction of the main species and varieties cultivated is far from being known! Of course, the species cultivated are numerous and the varieties are permanently renewed. But the fact remains that the plants which are best known by physiologists are those... which are the least attractive for cultivations. Agronomists and physiologists must absolutely reinforce their collaboration.

Éclairement des cultures protégées

André Nisen

Agronome éco-climatologiste
Faculté agronomique de l'État
Belgique

1 *Introduction*

Il est un fait admis de tous, indiscuté sinon indiscutable, que la lumière est un des facteurs limitants de la croissance des plantes cultivées sous serre en hiver.

Et bien des auteurs proclament partout le slogan hollandais très peu nuancé mais combien percutant: "1 % de lumière en moins dans les serres en hiver, c'est 1 % (sinon davantage) de rendement perdu pour les plantes...!"

Certes, l'insolation hivernale de nos pays est insuffisante pour assurer une photosynthèse maximale des plantes que nous cultivons d'octobre à mars. Mais le problème de la lumière sous serre peut-il vraiment être posé de façon aussi simpliste ?

Nous n'en croyons rien.
Ce problème doit être remis dans son contexte réel et beaucoup plus affiné. D'ailleurs, il ne peut être envisagé seul: il est impossible de dissocier le facteur *lumière* de celui de la *température*. On peut ainsi raisonner plus sagement et rencontrer davantage les vraies questions que se pose le praticien.

Dans les considérations ci-dessous, nous envisageons le plus souvent *l'interaction lumière / température* et évitons de nous limiter à des considérations - qui en deviendraient trop théoriques - sur le problème de l'éclairement des cultures protégées.

2 *Eclairement des serres - Généralités*

2.1 Rendement maximum théorique; rendement économique

Il ne s'agit pas de produire en serre des rendements atteignant le maximum possible mais bien des rendements économiquement rentables.

A Montréal, l'insolation globale reçue au sol en décembre n'excède pas les 17 % de celle qui y est observée en juin (cf figure 8): la hauteur du soleil en hiver n'y dépasse guère 21° (contre 68° en juin) et la durée du jour (éclairement potentiel) est de l'ordre de 9 heures alors qu'elle atteint 15 heures environ en début d'été.

Il est certain, dans ces conditions, que même sous serre, la production des cultures en hiver est difficilement comparable à celle observée en plein air en été. Mais cette production hivernale peut arriver certainement, à dépasser le 1/6 de celle obtenue en été.

En effet, les physiologistes montrent que, dans les meilleures conditions, seuls 2 % environ de l'énergie lumineuse captée par la feuille contribuent réellement à la formation de matière sèche.

Encore faut-il tenir compte de *l'indice foliaire* de la plante cultivée c'est-à-dire du rapport surface foliaire/surface au sol.

On admet qu'un indice foliaire de 5 permet une utilisation optimale de la lumière. Or, cet indice correspond à celui d'une culture de concombre palissé ayant atteint la hauteur des chéneaux de la serre, ou d'une culture de Tomate adulte possédant 20 feuilles.

De jeunes plantes en pépinière, un melon conduit "à plat"... possèdent un indice foliaire de l'ordre de l'unité.

D'un autre côté, un indice foliaire supérieur à 5 est considéré comme excessif puisqu'il conduit au jaunissement des feuilles les moins

exposées au soleil (Tomates de plus de 20 feuilles).

2.2 Efficacité photosynthétique théorique

L'efficacité photosynthétique du rayonnement solaire ne croît pas indéfiniment avec l'énergie lumineuse reçue par une plante. CHARTIER et "l'Ecole de Versailles" admettent que, tout autre facteur du climat restant à *l'optimum*, le rendement photosynthétique de la lumière s'accroît de façon exponentielle et asymptotiquement jusqu'à une valeur dite de saturation. Dans ce cas, au-delà d'une insolation déterminée, l'efficacité du rayonnement reçu n'augmente plus.

Figure 1

Photosynthèse brute en fonction du flux utilisé. (CHARTIER et al).

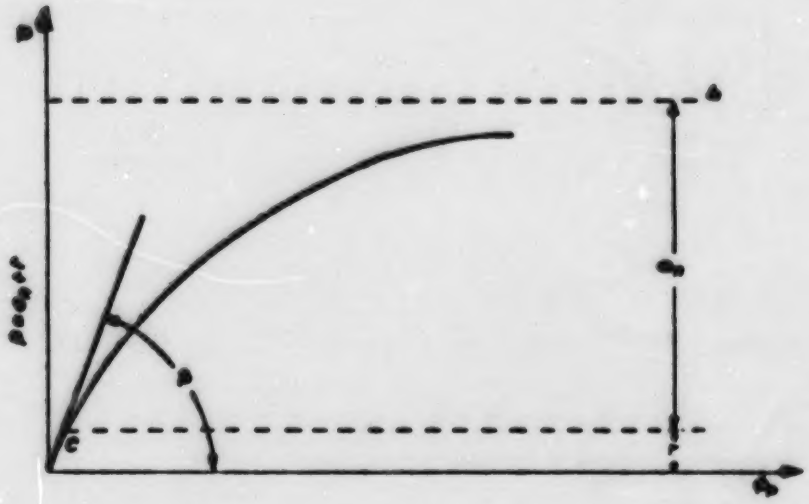
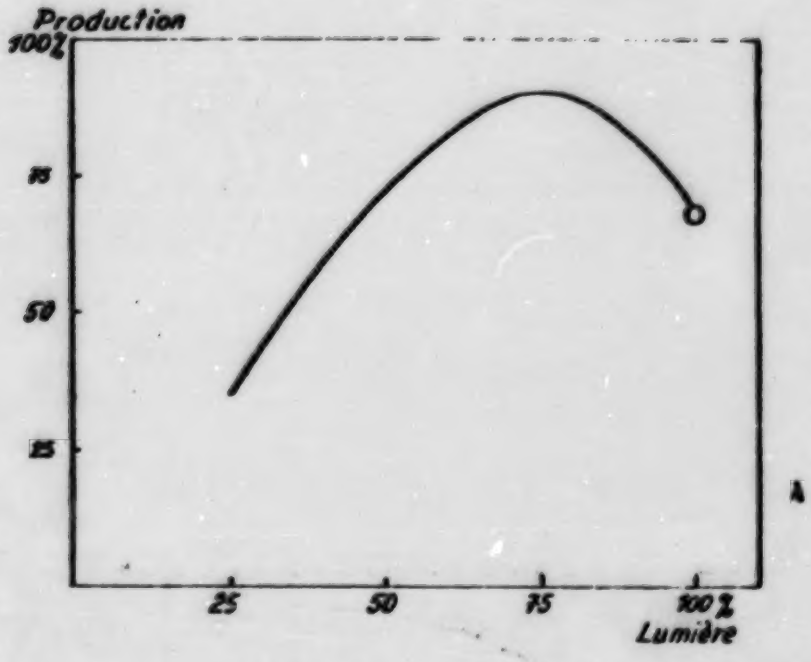


Figure 2

Production des plantes en fonction de la lumière reçue.



D'autres auteurs, incluant dans la courbe qui illustre le phénomène l'action de la T° (sinon même du bilan hydrique des végétaux), admettent que, au-delà d'un niveau énergétique donné, la lumière exerce une action néfaste sur la culture.

Ces deux théories sont au fond équivalentes car elles tiennent compte chacune, mais d'une façon différente, des autres facteurs du climat.

De toute façon, on observe que le *rendement* photosynthétique est supérieur par faible ensoleillement à celui observé par forte insolation. KLAPWIJK cite les chiffres suivants: par 80 % de l'intensité lumineuse

maximum sous nos climats, on mesure une formation de 800 à 1 000 g de matière fraîche par m^2 et par semaine; par contre en hiver, 10 % de l'intensité lumineuse maximum conduisent à une production de 120 à 160 g/m^2/ semaine.

2.3 Efficacité photosynthétique pratique

L'aspect pratique du problème conduit à intégrer dans l'analyse l'étude de l'influence des autres facteurs du climat (cf.plus haut).

On peut utilement rappeler les deux graphiques ci-dessous qui sont classiques et cernent assez bien le phénomène.

Figure 3

Effet de l'éclairement énergétique (Ee) et de la concentration en CO_2 (C) sur la photosynthèse nette par unité de surface foliaire (Pn) pour une feuille de Trifolium pratense. (WARREN-WILSON).

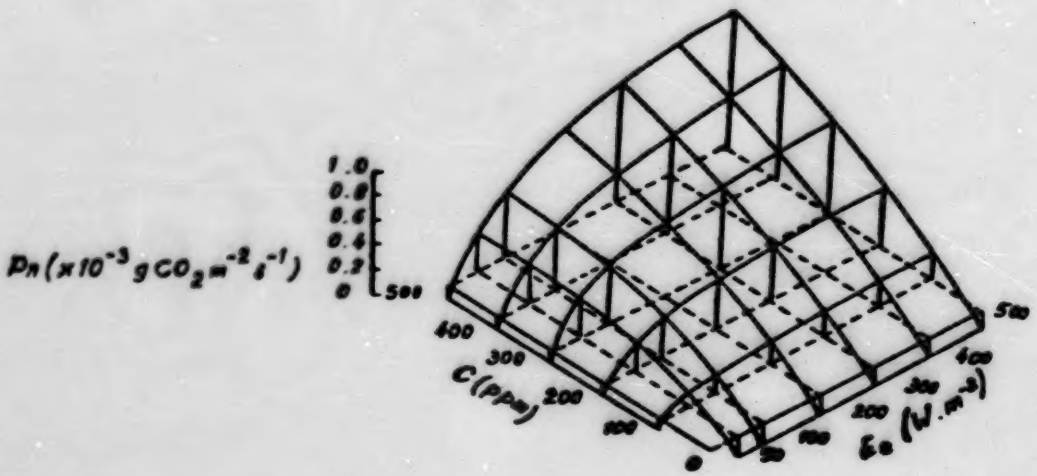
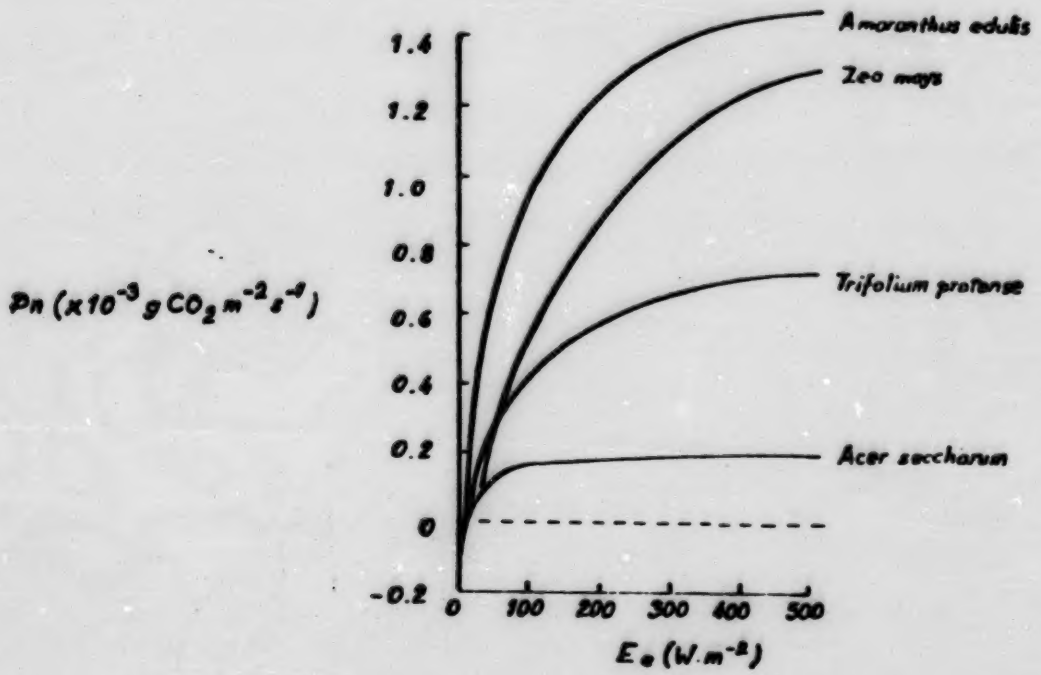


Figure 4

Effet de l'éclairement énergétique (Ee) (pour une concentration de CO_2= 300 ppm) sur la photosynthèse nette par unité de surface foliaire (Pn) pour les feuilles de 4 espèces différentes.



Ces graphiques se passent de commentaire... encore qu'ils montrent que le comportement des diverses espèces et variétés cultivées est très variable et que l'agronome aurait besoin d'un ensemble de données physiologiques et éco-climatologiques que le chercheur est incapable de lui fournir. Ce manque de connaissances n'est-il pas, bien plus encore que la lumière, le facteur limitant des cultures sous abris en hiver ?

2.4 Plantes à cultiver (d'après leurs exigences)

Les besoins en lumière de chaque plante sont différents: le niveau de saturation mentionné à la figure 1 correspond à des insolations différentes selon les végétaux; il est nettement supérieur chez les plantes à forte capacité photosynthétique (ou à besoin élevé en lumière ?) que chez les plantes à faible capacité (ou faible besoin ?).

Si le concombre a besoin de relativement peu de lumière pour une bonne photosynthèse, est-ce parce qu'il "assimile bien"? Et le melon, qui exige de fortes intensités lumineuses est-il un "mauvais assimilateur" ? Ce problème très complexe est à poser aux physiologistes d'autant plus que - et le praticien le sait parfaitement - sur de faibles besoins en lumière dans le cas du concombre se greffent des exigences en humidité relative élevées tandis que le melon, plus exigeant en lumière, se contente d'H.R. plus faibles.

Cette observation prouve bien qu'il est dangereux d'étudier l'influence d'un seul facteur du climat sur les plantes.

De toute façon, lorsque l'on est contraint d'effectuer des cultures par faible ensoleillement, il importe d'abord et avant tout de choisir des variétés sinon des espèces à *besoins limités en lumière.* Le praticien belge sait bien que les tomates d'origine hollandaise sont nettement moins exigeantes en lumière que les variétés méditerranéennes, que les roses les plus appréciées dans le commerce sont justement les plus exigeantes en lumière. N'y a-t-il pas aussi, à ce niveau, un meilleur choix variétal à effectuer, quitte à ce que le producteur, sous la pression des exigences de la culture, en arrive à tenter de modifier le goût combien subjectif, par définition, du consommateur ?

De même, les *espèces* cultivées en hiver dans les pays à faible ensoleillement devraient être reconsidérées par les producteurs: faut-il s'astreindre à produire de la (mauvaise) tomate en hiver dans nos climats alors que d'autres légumes moins exigeants pourraient procurer

au consommateur les "crudités" dont son organisme a besoin (laitue, concombre, radis...) ? Là encore, le problème devrait se poser de façon inverse dans la pratique: le coût de la production devrait inciter le consommateur à se contenter de légumes dont il a peut-être moins l'habitude, mais qui peuvent être produits décemment en ces périodes de crise.

2.5 Epoques de production

D'un autre côté, s'il apparaît, comme c'est probable, que le producteur ne pourrait, à brève échéance, modifier les exigences du consommateur (ne serait-ce que parce qu'il ne contrôle pas les prix), il se verra contraint à étudier avec soin ses *schémas de culture* et, vraisemblablement, à modifier ses époques de production.

En Belgique, une production très précoce de tomates (février-mars) qui consiste en une plantation en serre dès décembre est *techniquement difficile* à réaliser (elle se déroule tout au long des mois pendant lesquels la lumière fait le plus défaut) et *économiquement non valable* parce qu'elle implique de chauffer à haute température pendant les mois les plus froids*. Un décalage de 1 mois dans la production ne conduit qu'un retard de production de 3 semaines mais réduit de 20 à 25 % le coût du chauffage (sans compter que la qualité du produit est bien supérieure).

2.6 Zones de production

La troisième partie de la présente étude s'attache à caractériser - de façon théorique - les potentialités prévisibles des diverses régions du Canada en ce qui concerne les cultures sous serre.

La recherche de ces zones favorables aux cultures hivernales sous abri

---

* Cependant, ces dernières années, ce sont justement ces types de cultures qui permettent les meilleurs profits, malgré le prix du "fuel"...

est relativement aisée. Ce qui l'est beaucoup moins, c'est la possibilité de les choisir pratiquement et à l'exclusion de toute autre, car le facteur humain intervient, qui bouleverse bien des raisonnements théoriques. C'est tout le problème de la production sous serre dans le *Marché Commun:* les agriculteurs méditerranéens s'estiment mieux placés (pour effectuer des cultures sous serre en hiver) que leurs collègues des régions plus septentrionales ou plus continentales. Leur argument de base est le fait qu'ils bénéficient en hiver d'un climat plus ensoleillé et moins froid. Mais n'est-ce pas là une vue simplifiée sinon simpliste du problème ? (Comment luttent-ils contre les vents qui ont fait la réputation de leurs régions ? Disposent-ils d'eau et de terres de qualité en quantité suffisante ?)

Des études sont réalisées à ce niveau par le Marché Commun. Devraient-elles déboucher sur la démonstration que les régions méridionales de l'Europe sont mieux armées pour la production avancée (sous serre), qu'elles ne résoudraient ni le problème de la reconversion des spécialistes en culture protégée du Nord de l'Europe (bien mieux rompus aux exigences du métier qu'ils pratiquent depuis beaucoup plus longtemps et dont les investissements considérables sont loin d'être amortis) ni celui du transport dans toute l'Europe à partir des régions méditerranéennes, ce qui ramène au problème de l'énergie, surtout dans le cas de produits fragiles supportant mal de longs délais de commercialisation.

Ne devrait-on d'ailleurs pas tenir un raisonnement identique en ce qui concerne la position du Marché Commun vis-à-vis des pays non (encore) membres et plus méridionaux ?

Or la Communauté européenne est bien petite par rapport à des pays comme le Canada, qui est 350 fois plus grand que la Belgique. C'est donc d'une façon plus aiguë encore que nous paraît se poser le problème des cultures hivernales sous serre au Canada.

2.7 La lumière et la serre proprement dite

Deux facteurs principaux sont à prendre en considération:

- . la conception et la construction de la serre et
- . la nature du matériau de couverture de l'abri.

2.7.1 Conception et construction de la serre

Rappelons brièvement que sont à préférer:

a) une serre à forte pente de toiture: meilleure qu'un abri à toit "plat";

b) une serre hémicylindrique: meilleure qu'une serre peu cintrée;

c) une serre isolée: meilleure qu'une serre accolée à d'autres;

d) une serre large et haute: meilleure qu'un abri bas et étroit;

e) une orientation E-O pour les cultures hivernales, N-S pour les autres.

Nous ne nous attarderons pas à développer ces considérations qui, certes, méritent d'être nuancées mais qui sont connues de chacun.

2.7.2 Couverture de la serre

Il est indispensable de relier les deux problèmes:

- . bilan lumineux d'une serre et
- . économie d'énergie maximale.

Ceci nous ramène aux considérations présentées dans l'Introduction de cet exposé (paragraphe I).

Contrairement à ce qu'affirme le slogan y mentionné, ce n'est plus, à l'heure actuelle (et ce, quelle que soit la région considérée) le facteur lumière qui est limitant et doit être pris en considération avant toute autre chose, mais bien celui du chauffage des serres et de l'économie possible d'énergie.

N'envisager que le premier facteur cité n'est pas réaliste: il

importe d'économiser au maximum l'énergie nécessaire, dans une région donnée, à la production hivernale sous abri. Cette exigence conduit à consentir des investissements du type "matériaux de couverture isolants" et, dans certains cas, à admettre un accroissement de la durée de production nécessaire par suite d'une réduction de la lumière disponible pour les plantes. Avant de décréter "ex abrupto" qu'un matériau isolant ne peut pas être utilisé en serre, à cause des pertes supplémentaires de lumière qu'il occasionne (par rapport au simple vitrage traditionnel), il faut faire un *bilan financier* de l'opération.

D'un côté, agissent négativement sur la rentabilité de la culture:

- le coût du matériau isolant (par exemple double paroi en polyacrylate ou polycarbonate...) et éventuellement celui des serres elles-même;
- le retard éventuel de la récolte (par rapport au vitrage simple) (durée allongée de la période de culture à la suite d'une réduction de la lumière disponible);
- la réduction (assez exceptionnelle en Europe septentrionale) de la qualité des plantes produites uniquement observée dans le cas de roses exigeantes en lumière).

De l'autre côté, existe un *aspect favorable* à l'emploi d'un matériau isolant: c'est le gain en fuel réalisé.

Ce n'est qu'après avoir comparé ces deux faces du problème c'est-à-dire après avoir établi un bilan financier valable, dans un cas particulier bien défini, que l'on peut juger si l'emploi de ces matériaux se justifie ou non. Un refus automatique et arbitraire, basé sur le seul fait qu'il réduit la lumière disponible, ne peut donc absolument pas être de mise: il n'est pas objectif !

Le tableau 1 donne un aperçu des caractéristiques des divers matériaux actuellement dans le commerce en Europe et susceptibles,

TABLEAU 1 Transparence moyenne (en %) pour les différents types de rayonnement de quelques matériaux simples ou associés (doubles parois) et ordre de grandeur de leur coefficient (k) de conductibilité thermique (Valeurs personnelles, présentées selon la N B N 894)

Nature de la couverture	Epaisseur (en mm)	Rayonnement solaire direct		Rayonnement diffus total		Infra-rouge long	k (W/m^2 suivant TANTAU)
		visible	total	Ciel serein	Ciel couvert		
Film P.E. courte durée	0,1	90	91	88	89	78	7,7
Film P.E. longue durée	0,1	89	88	71	82	75	7,6
Film PVC non armé	0,1	92	91	85	89	32	7,2
Film PVC armé	0,15	76	74	65	73	16	7,-
PVC en plaque	1,1	89	88	73	85	6	6,8
EVA film	0,1	88 à 92	88 à 91	72 à 82	75 à 85	38 à 50	7 à 7,4
Polyester renforcé	1,1	90	87	71	83	4	6,6
Verre "horticole"	3,4	91	89	84	87	0	6,4
Glace	6	89	81	76	71	0	6,3
Double vitrage (verre hort.) (10 mm air sec)	3,4 + 3,4	82	80	77	83	0	3,3
Verre hort. + PE film	3,4 + 0,1	84	83	77	80	0	4,4
Verre hort. + PVC	3,4 + 0,1	85	83	75	81	0	4,0
Verre hort. + PE "bulles"	3,4 + 2	78	76	62	70	0	3,8
PE + 10 mm air PE	0,1 + 0,1	83	83	77	79	66	5,8
P.M.M.A. (double paroi nervuré)	8 à 16	82 à 88	78 à 85	66 à 83	63 à 80	0	4 à 3,1
P.C. (double paroi nervuré)	4 à 6	77 à 79	17 à 79	57 à 60	59 à 61	3	3,2 à 3,8
P.P. (double paroi nervuré)	3 à 5	73 à 77	74 à 78	55 à 58	54 à 58	36 à 37	4 à 4,7

N.B. - Les valeurs données sont celles de matériaux de fabrications diverses

P E = Polyéthylène
E V A = Ethylène vinyl-acétate
P C = polycarbonate
P.V.C. = Chlorure de Polyvinyle
P.M.M.A. = Polymétacrylate de méthyle
P.P. = polypropylène

dans une mesure plus ou moins large, de réduire l'énergie nécessaire au chauffage des cultures hivernales.

Il est utile de remarquer que, si certains des matériaux réduisent jusqu'à 50 % par rapport à la simple paroi l'énergie nécessaire au chauffage des serres (grâce à un coefficient k fort réduit), ils peuvent également être utilisés en couverture d'abris non chauffés, aux entre-saisons; ils permettent ainsi d'améliorer leur bilan thermique mais n'évitent pas forcément - loin de là - le gel des cultures.

Nous insistons sur l'intérêt - et l'originalité - de la méthode que nous utilisons (N B N 894):

. d'une part, elle tient compte, dans le calcul des valeurs moyennes, de l'importance de chacun des rayonnements considérés pour les diverses longueurs d'onde correspondantes; ce sont des moyennes *pondérées* et non simplement arithmétiques qui sont estimées;

. d'autre part, elle envisage le cas du rayonnement diffus, ciels couvert et serein et permet ainsi de mieux cerner le problème car des différences s'observent entre transmission ou réflexion d'un matériau pour les rayonnements directs et diffus.

2.8 Excès de lumière - Interventions estivales

Nous venons de voir que l'ombrage est au premier plan des préoccupations de l'horticulteur. Des progrès d'autant plus sensibles ont été réalisés ces dernières années que la technique de déroulement d'écrans dans la serre est principalement justifiée, depuis la crise de l'énergie, par le rôle que ces toiles peuvent jouer dans la recherche d'une économie de chauffage (déroulement nocturne).

2.8.1 Ombrage

Il est certain qu'un *bon ombrage* doit remplir les conditions suivantes: il doit être:

1. *bon marché* (ou susceptible d'être amorti par une utilisation supplémentaire (protection contre le froid);
2. *sélectif*, c'est-à-dire ne pas éliminer les rayons utiles à la photosynthèse, donc se borner à éviter que l'infrarouge solaire n'atteigne les plantes;
3. *incolore* (ou blanc) c'est-à-dire ne pas réduire l'intensité de certains rayons visibles plus que celle des autres; on ne peut, en effet à l'heure actuelle, se prononcer avec certitude quant à l'efficacité photosynthétique des divers rayonnements du visible dans le cas de toutes les plantes cultivées;
4. *réglable en intensité:* dérouler dès que l'insolation est de quelques pour cents excessive, un écran qui supprime 75 % du visible est aberrant et réduit la photosynthèse; ce principe justifie à l'heure actuelle la pose d'un écran mobile constitué de 2 toiles de (relativement) faible pouvoir absorbant (ou mieux, réfléchissant): elle permet d'adapter l'ombrage aux besoins réels et de constituer une meilleure isolation nocturne;
5. *temporaire* c'est-à-dire amovible: un ombrage permanent réduit la photosynthèse par temps couvert et est donc préjudiciable aux cultures;
6. *peu encombrant*, c'est-à-dire que, dans le cas de toiles à dérouler dans la serre, il ne doit pas, en position de repos, éliminer une fraction perceptible du rayonnement incident;
7. *réfléchissant* plutôt qu'absorbant pour éviter d'influencer défavorablement le bilan thermique de la serre; ceci nous paraît de la plus haute importance (cf tableau n° 2).

N.B. Bien peu d'ombrages remplissent toutes ces conditions !!

2.8.2 Ecrans thermiques

Dans les serres destinées à la culture des plantes ornementales, la grande valeur des végétaux cultivés permet des investissements plus importants et notamment le placement à l'intérieur des serres d'écrans qui peuvent servir d'ombrage le jour et

d'isolation la nuit (comme dit au paragraphe 2.8.1).

Une tout autre méthodologie s'implante peu à peu, qui concerne:

- la disposition des écrans *dans* les serres en vue d'une isolation maximum (et non plus hors des serres comme on tentait de le faire naguère);
- l'utilisation de toiles susceptibles de provoquer un ombrage sélectif tout en permettant une *réduction des pertes nocturnes* de chaleur;
- la recherche d'écrans qui *réfléchissent* les rayonnements solaire et infrarouge plutôt que de les absorber.

Ce seul sujet serait susceptible de nous occuper plusieurs heures tant il est passé au premier plan des préoccupations des chercheurs et des vulgarisateurs.

Personnellement, nous avons mis au point une méthode de caractérisation de ces écrans; elle aussi basée sur la N B N 894 que nous avions développée, il y a quelques années, pour la détermination des propriétés des verres (spéciaux) utilisés en vitrage dans les bâtiments.

Nous pensons qu'il est superflu d'insister ici sur l'importance de la connaissance du comportement de ces écrans vis-à-vis du rayonnement diffus.

N.B. Les valeurs absolues des données ci-après n'ont que peu de signification: elles ne sont présentées qu'à titre d'indication, pour montrer notamment que certains matériaux réfléchissent divers rayonnements plus que d'autres.

Notons enfin que, au stade actuel de nos connaissances, on peut conclure que les matériaux colorés sont moins efficaces que les blancs, ne serait-ce que parce qu'ils absorbent (donc transforment en chaleur) une plus grande partie du spectre solaire visible.

TABLEAU 2 Caractéristiques photométriques de quelques écrans thermiques utilisés tant en ombrage qu'en isolation nocturne

Nature de l'écran	Rayonnement visible				R. solaire total		I-R long	
	Ray. direct		Ray. diffus					
	T	R	Ciel serein	Ciel couvert	T	R	T	R
Acryl. + polypropyl 50 %	45	54	38	33	44	52	4	3
Polyéthylène tissé	56	44	49	43	61	36	58	5
Polyester	62	36	54	47	63	35	6	2
Acryl. 60 %	44	50	37	32	45	51	8	2
Acryl. blanc 50	34	45	28	23	45	44	16	2
Acryl. gris 75	53	24	46	40	53	34	14	2
Acryl. rouge	28	18	18	15	42	30	7	2
Acryl. orange	28	16	20	17	44	32	11	2
Aluminisé réfléchissant								
face noire	0	4	0	0	0	4	17	3
face blanche	0	80	0	0	0	63	17	3

T = Transmission R = Réflexion

3 *Eclairement et culture protégée au Canada*

Dans les pages qui suivent, et à la seule vue d'un certain nombre de données météorologiques, nous tentons de caractériser, selon notre optique personnelle, le climat canadien et de prévoir, en fonction de notre expérience en Europe, ses possibilités du point de vue Culture protégée.

Il va de soi que les conclusions ci-dessus, très théoriques, ne sont données qu'à titre d'indication et exigeraient, pour être affinées et précisées, une "expérience canadienne" que nous sommes loin de posséder.

3.1 Généralités

En nous basant sur les données climatiques, malheureusement incomplètes, publiées par H.E. LANDSBERG dans "World Survey of Climatology", vol. 6, 7 et 11, nous avons pu définir, d'une façon un peu sommaire peut-être mais selon nous intéressante, le climat lumineux et thermique de quelques régions du Canada, selon les méthodes que nous avons employées depuis une vingtaine d'années pour le climat européen.

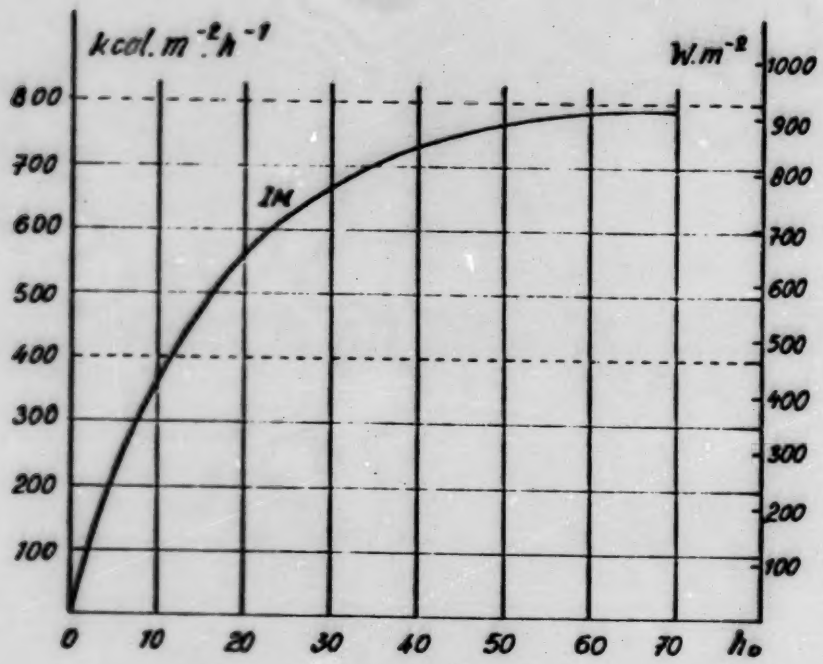
Les comparaisons entre sites que nous présentons ci-dessous ne sont certes pas exactes en valeur absolue car la relation entre durée d'ensoleillement et énergie reçue varie avec la hauteur maximum atteinte par le soleil donc avec la latitude; elles ont cependant une valeur d'indication non négligeable.

TABLEAU 4 Hauteur maximum (en °) atteinte par le soleil le 20 de chaque mois, en fonction de la latitude

latitude / mois	40°	45°	50°	55°	60°	70°
octobre	40	35	30	26	20	11
novembre	30	25	21	15	10	0
décembre	26	21	16	11	6	(-3)
janvier	30	25	20	15	10	0
février	39	34	29	24	19	9
mars	50	45	39	35	30	20
juin	73	68	63	58	53	43

Figure 5

Eclairement énergétique maximum du rayonnement solaire en fonction de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon (ciel serein).

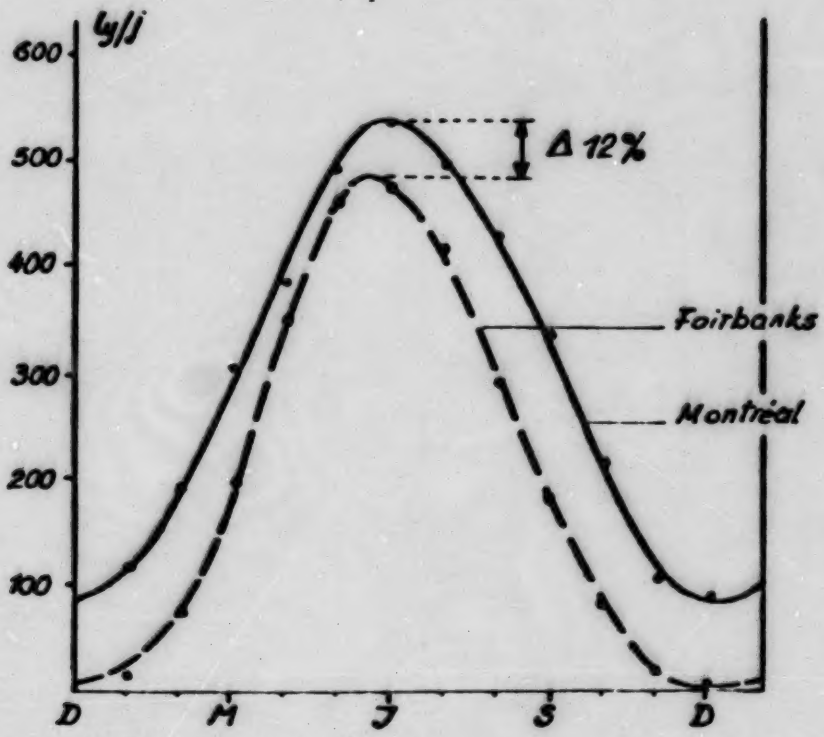


On voit immédiatement que l'éclairement énergétique du rayonnement solaire croît en proportion avec la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon lorsque celle-ci est inférieure à 20°; puis son augmentation avec celle de la hauteur solaire se réduit pour des valeurs moyennes de cette dernière; elle atteint enfin pratiquement un plafond dès 45°, c'est-à-dire l'"altitude" maximum atteinte par le soleil sous nos climats à la fin de mai début d'avril.

D'un autre côté, il est également intéressant de noter qu'une durée d'insolation égale dans deux stations situées à des latitudes différentes ne conduit pas à un éclairement énergétique identique.

Figure 6

Insolation globale reçue au sol dans deux stations canadiennes.



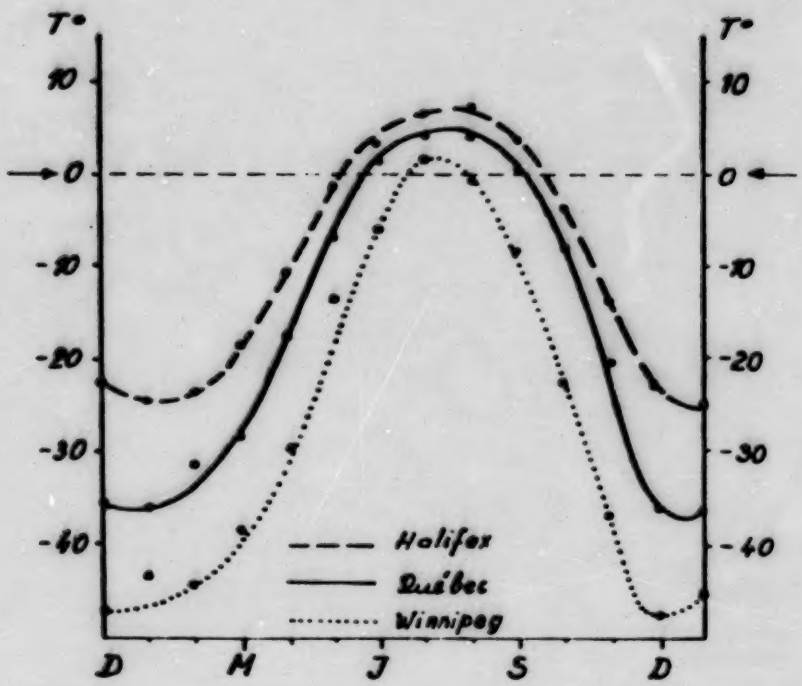
Ainsi, à Fairbanks (64° lat.), une durée d'insolation estivale maximum mensuelle de 334 h (= 132 % de celle de Montréal) ne conduit à observer qu'une radiation globale maximum au sol égale à 88 % de celle enregistrée à Montréal (45° lat. - 253 heures d'insolation estivale max.) (cf. figures 6 et 8).

En outre, l'efficacité photosynthétique de ces ensoleillements est également variable, ce qui nous permet d'accepter l'imprécision susmentionnée; nous cherchons, en effet, à dégager quelques principes généraux plus qu'à quantifier des différences.

A titre d'indication, il nous paraît encore utile de préciser, à la figure 7, les minima de T° observés en divers endroits du Canada.

Figure 7

Minima mensuels observés en diverses stations du Canada.



3.2 Diagrammes héliothermiques (figures 8 et 9)

Pour quelques stations du Canada et deux références européennes, ils permettent d'abord d'apprécier *l'ensoleillement réel reçu* (courbe en trait plein) exprimé en heures par mois et montrent clairement les grandes différences observées non seulement en fonction de la latitude mais également à une latitude équivalente, en fonction de la longitude (caractère plus ou moins continental du climat).

En outre, ces graphiques présentent l'allure générale de l'évolution des *T° moyennes mensuelles* ainsi qu'une estimation des valeurs de ces T° les 21 mars et 21 septembre. Ces données permettent une bonne caractérisation du climat de la région aux équinoxes. Dans des conditions égales (Québec, Ottawa, Edmonton...) ou légèrement différentes

(Montréal, Toronto, Halifax, Lethbridge...) de luminosité, la différence de T° moyenne est étonnante entre les deux dates choisies. Cette observation conditionne toute la culture sous serre !

N.B. 1 Dans le cas des régions situées à l'extrême Sud ou plus au Nord du Pays (*Toronto* d'un côté, Juneau et à fortiori *Fairbanks* de l'autre) on observe une différence plus marquée d'insolation entre les équinoxes, et ce, à l'avantage au Sud, de l'automne et au Nord, du printemps.

2 On note aussi que la luminosité reçue au mois de juin est, dans la plupart des sites considérés, inférieure à celle qu'elle devrait avoir au vu de l'allure générale du graphique.

3.3 Comparaison entre climats canadien et européen

Si nous nous référons aux figures 10 et 11, nous pouvons aisément effectuer une comparaison entre les climats lumineux du Canada et ceux de régions à même latitude et longitude ± équivalente en Europe occidentale.

Figure 8

Diagramme héliothermique de quelques régions du Canada comparé à celui de Gembloux (B).

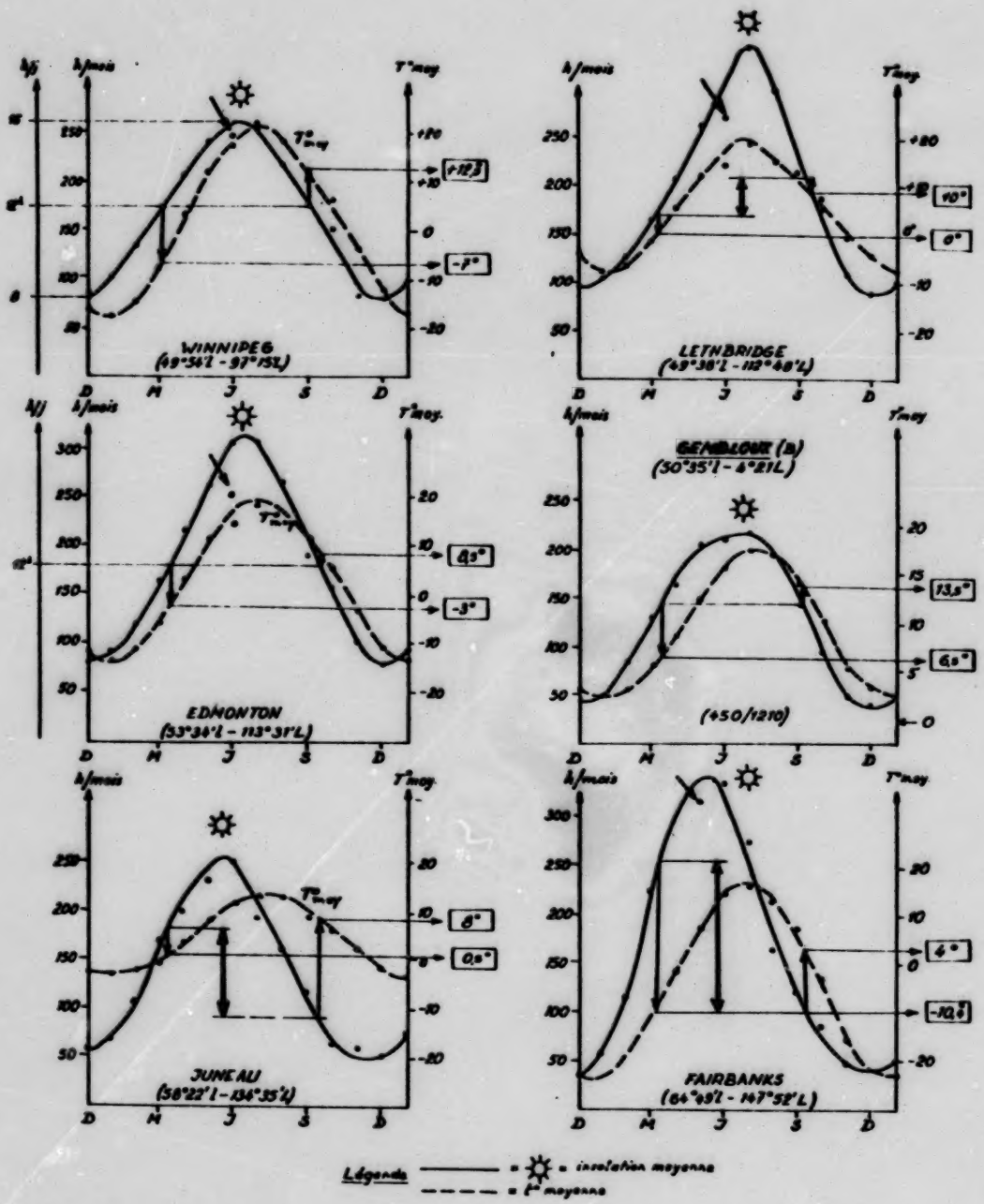


Figure 9

Diagramme héliothermique de quelques régions du Canada comparé à celui de Nice (F).

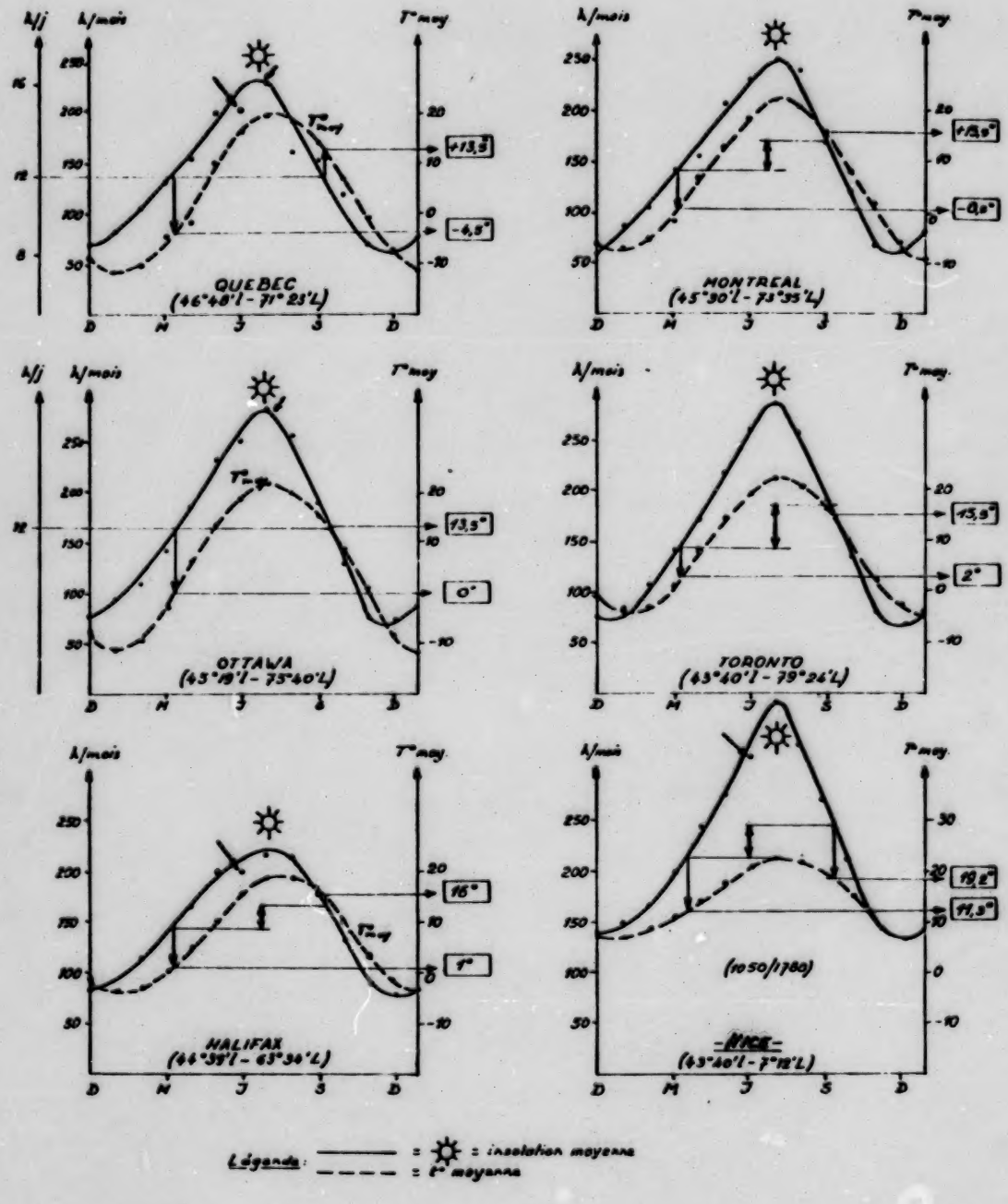
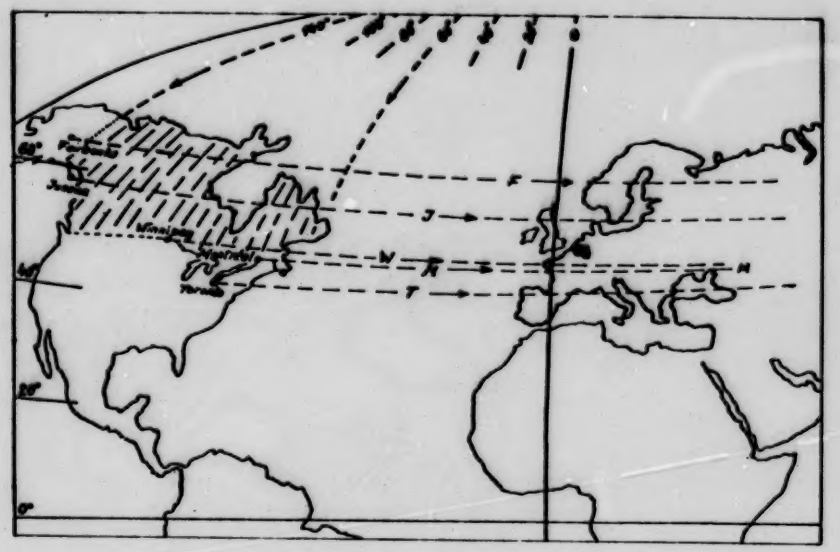


Figure 10

Situation de quelques stations canadiennes par rapport à celle de pays de référence en Europe.



La figure 11 reprend, pour une bonne trentaine de stations, réparties dans tout le pays, l'insolation moyenne hivernale et estivale réelle observée de 1931 à 1960. Nous avons pu, de la sorte, esquisser un tracé provisoire pour *l'isohèle 600* (600 h d'insolation d'octobre à mars). Rappelons que, en Europe, cet isohèle suit approximativement le 47^{e} parallèle et que nous lui attribuons une valeur d'indication importante. Cette même figure présente, par des flèches, la direction approximative des vents dominants d'octobre à mars.

Notons que les deux valeurs présentées sous un nom de ville (p. ex. *Montréal* 599 / 1253) signifient que d'octobre à mars, on a enregistré une valeur moyenne de l'ensoleillement hivernal de 599 heures au cours des 30 années précitées et une valeur de l'ensoleillement estival correspondante de 1253 heures.

Figure 11 Caractéristiques de l'insolation reçue en quelques régions du Canada.

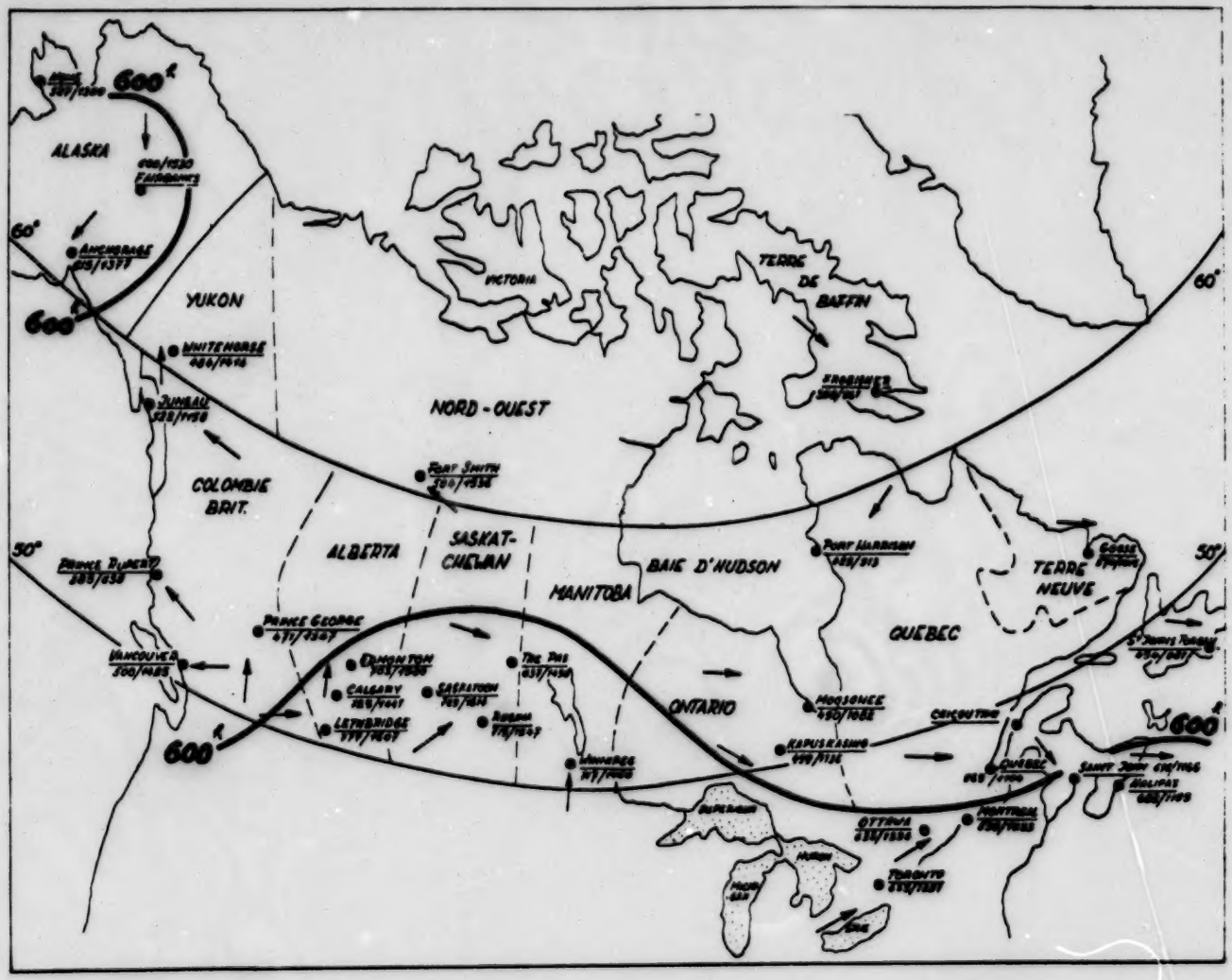


TABLEAU 5 Insolation réelle d'octobre à mars (en heures) de quelques régions du Canada et de régions correspondantes en Europe.

CANADA			Référ. EUROPE		
REGION	Insolat. réelle		REGION	Insolat. réelle	
	Hiver	Eté		Hiver	Eté
Toronto	635	1391	Sud de France	1050	1900
Halifax	688	1185	S-O de France	650	1350
Ottawa	633	1356	S-O de France	650	1350
Montréal	599	1253			
Québec	563	1104			
Winnipeg	717	1460	N-E de France	550	1250
Lethbridge	777	1607			
Edmonton	703	1500	S de Belgique	450	1150
Juneau	522	1158	S de Suède	400	1050

On observe que le Québec méridional, à part la région de Toronto, possède un climat *lumineux* hivernal assez semblable à celui des régions françaises de situation comparable. On peut donc estimer que ses possibilités de culture sous serre pendant les mois d'octobre à mars sont semblables à celles de même situation géographique en France.

Une situation plus maritime (Halifax) et surtout plus continentale (Winnipeg, Lethbridge ou Edmonton) est sensiblement plus favorable pour les cultures que les régions ouest-européennes pouvant être choisies comme références (au point de vue lumière).

3.4 Quelques conclusions

L'énergie lumineuse totale reçue en un endroit donné, à un moment donné ne définit pas à elle seule le problème.

La répartition de cette énergie au long de la journée nous paraît un facteur important.

Ceci nous amène à envisager le problème de la longueur du jour et de la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

3.4.1 Période hivernale

La durée du jour est plus faible dans les régions à *latitude élevée* que dans celles à moyenne latitude. A énergie solaire égale reçue, on peut estimer qu'à latitude élevée l'insolation instantanée est plus forte qu'à latitude plus faible, c'est-à-dire que les plantes disposent (pendant un temps court peut-être de la journée mais cependant appréciable) d'une énergie lumineuse suffisante pour une photosynthèse active; et que dans une certaine mesure, cette valeur assez élevée de l'énergie reçue compense la brièveté relative de la durée de l'ensoleillement. En d'autres termes: durée du jour courte, certes, mais photosynthèse active possible et réduction des conséquences néfastes de l'emploi de matériau de couverture isolants (cf. plus bas).

Le Sud de l'Alberta, de la Saskatchewan et du Manitoba semble donc, à première vue, bénéficier d'un climat lumineux *hivernal* assez favorable.

Par contre, les disponibilités hivernales en lumière du *Sud Québec* (Ottawa est situé à environ 500 km plus au Sud que Lethbridge) nous paraissent, jusqu'à plus ample information, moins favorables aux cultures *forcées* sous abri, à couverture isolante (en comparaison avec les régions européennes de référence choisies); au mieux, elles bénéficient de potentialités d'insolation d'octobre à mars équivalentes à celles des régions situées plus à l'ouest, mais la durée hivernale d'insolation légèrement plus longue fait prévoir des éclairements instantanés (moyens) un peut réduits par rapport à ceux des régions précitées: il n'est donc pas certain que l'on

puisse y utiliser les mêmes techniques de production hivernale.

Enfin, *l'extrême Sud du Canada* (Toronto) n'apparaît pas plus ensoleillé en hiver que le Nord-Est des Grands Lacs, ce qui, compte tenu de sa situation géographique, le rend moins à même de concurrencer les régions européennes de référence auxquelles il correspond et, tout au plus, susceptible de donner des résultats culturaux hivernaux du même type que ceux des régions précitées (ceci compte non tenu de la différence de T° moyenne).

3.4.2 Période estivale

En ce qui concerne la période d'avril à septembre, les conclusions auxquelles on aboutit à l'examen des valeurs ci-dessus sont assez différentes.

L'extrême Sud (Toronto) et *même l'extrême Sud-Est* (Halifax) du Canada bénéficient d'une insolation qui, pour être moins forte que celle de la région européenne de référence choisie, est encore suffisante. Elle paraît cependant susceptible d'éviter l'apparition de températures excessives sous serre, d'autant plus que la T° moyenne extérieure reste elle aussi, inférieure à celle du Sud de la France.

La région *Sud du Québec* apparaît comme disposant d'un éclairement du même ordre que celui du Sud-Ouest de la France, ce qui, compte tenu de la différence de Température moyenne, semble favorable aux cultures protégées estivales.

Le *Sud-Ouest du Canada* présente un climat lumineux estival que nous croyons pouvoir qualifier de favorable à très favorable, même et peut-être surtout eu égard aux conditions thermiques y rencontrées.

3.5 Remarque

Cette analyse s'avère très théorique et exige une confirmation précise;

mais elle pourrait donner les grandes lignes de la technique de culture sous abris, tant en ce qui concerne la conception et la réalisation de ceux-ci que les modalités culturales proprement dites. Elle définit donc dans une certaine mesure les potentialités des régions canadiennes (vis-à-vis de l'Europe) au point de vue production sous abri.

Certes, il n'existe aucune commune mesure entre les températures observées au Canada et dans les régions européennes choisies ci-dessus comme référence: la T° moyenne y est sensiblement plus faible.

Mais, si l'on fait abstraction du problème économique (chauffage !) pour s'attacher à déterminer les possibilités théoriques de culture sous abri au cours des mois d'octobre à mars, on remarque que le Sud du Canada semble très susceptible de soutenir la comparaison avec l'Europe de l'Ouest et que certaines régions paraissent même à première vue favorisées; il n'est donc pas exclu de dire, à cause du minimum de renseignements climatologiques dont nous disposons, que certaines régions du Canada peuvent compenser leur bilan thermique plus défavorable (que celui des régions correspondantes de l'Ouest) par l'emploi de matériaux plus isolants (doubles vitrages) qui, s'ils réduisent quelque peu les disponibilités en lumière, réduisent dans une large mesure les besoins en chauffage.

Le Sud de l'Alberta reçoit une insolation de 40 % supérieure à celle du Nord-Est de la France et de 20 % supérieure à celle du Sud-Est de la France, il est donc possible, toute autre chose étant égale, d'y utiliser des matériaux de couverture isolants qui, en diminuant de moitié (ou davantage encore) les besoins en énergie (en Europe), permettent d'atteindre des résultats culturaux très satisfaisants.

4 Conclusions

Un certain nombre d'autres conclusions pratiques sont encore susceptibles d'être tirées à la lecture de l'étude ci-dessus.

En fait, plutôt que de les répéter ici - nous les avons évoquées dans le texte - nous préférons insister sur la complexité des problèmes qui se posent lorsque l'on étudie la lumière dans les serres et la nécessité de nuancer très sérieusement le jugement que l'on porte.

Beaucoup *d'à priori* ont cours dans ce domaine et les conclusions que l'on tire sont souvent entachées de subjectivité; elles sont d'ailleurs dues dans bien des cas à un manque d'information ou à la poursuite d'un but commercial !

Le problème de la lumière dans les serres déborde largement le domaine technique et doit être considéré à l'échelon humain, économique et peut-être même politique, ne serait-ce que lorsqu'il rejoint celui du chauffage hivernal des abris et détermine, dans une certaine mesure, les zones de production hivernale de légumes ou de plantes ornementales.

Si la recherche du maximum de lumière dans les serres en hiver constitue l'aspect premier du problème, celui de la limitation des inconvénients dus à un excès d'énergie solaire (et non de lumière visible !) s'avère tout aussi important au cours des mois plus ensoleillés. A ce niveau, l'ombrage est un mal, nécessaire peut-être, mais auquel il ne faut recourir qu'après avoir épuisé toute autre possibilité d'intervention moins défavorable pour les plantes.

Enfin, tout au long du présent travail, il apparaît que l'on ne peut encore, à l'heure actuelle, disposer de données physiologiques suffisantes: la réaction quantitative - et parfois même qualitative - des principales espèces et variétés cultivées est loin d'être connue ! Certes, les espèces en culture sont nombreuses et les variétés en

perpétuel renouvellement. Mais le fait reste que les plantes les mieux connues des physiologistes sont celles qui présentent peu d'intérêt pour les cultures. Un contact plus étroit entre agronome et physiologiste s'avère donc indispensable.

The mechanization in greenhouses

Ir. C.J. Van der Post

Head of the Horticulture
Institute of Agricultural Engineering
Wageningen, Holland

Introduction

The Netherlands is a small country with an area of approx. 40 000 km^2 (15 400 sq mile), and a population of 14 million people or 350 inhabitants per km^2 (910 sq mile). The country is situated on the North Sea Coast with a mild marine climate rather favourable for most horticultural crops. Also the geographical position of the Netherlands is quite favourable because it is situated near to the industrial centres of Western Europe with its dense population. For this reason the large bulk (± 80 %) of the Dutch horticultural production is exported. The (cooperative) auction system is the basis of our marketing system; since a few years it even attracts suppliers from outside of Europe to sell their products (flowers) to West European consumers.

TABLE 1 Some climatological data for the Netherlands

average day temperature	yearly average	9,3° C
	January	1,7
	July	17,0
number of hours sunshine	total year	1575 hrs
	December	40
	June	223
precipitation	total year	784 mm
	March	44
	August	93

Some statistical data

Since the beginning of the 20th century the cultivation of horticultural crops under protection was developed in the Netherlands. Both to protect the crop against unfavourable weather and to lengthen the growing period. More than 99 % glass is used for covering the houses, therefore the

name glasshouse will be used in these papers instead of greenhouse. The growth is demonstrated in table 2.

TABLE 2 Area of glasshouses in acres

	1960	1970	1978
vegetables	10042	13435	11435
ornamentals	1253	4085	8687
miscell.	1193	575	340
total	12388	18095	20462

The change over from vegetable growing to ornamentals has been very pronounced during the 70's. About 85 % of the total glasshouse area can be heated, for 95 % with a central boiler and hot water pipes. The main crops cultivated in the glasshouses are presented in table 3.

TABLE 3 Acreage of glasshouse vegetables and ornamentals

		1973	1978
vegetables:	tomato *	7680	6795
	cucumber *	3240	3268
	lettuce *	8260	7242
	gherkin	830	660
	sweet pepper	505	480
ornamentals:	rose	1400	1740
	ayr chrys.	962	1192
	carnation	923	1073
	freesia ±	600	873
	gerbera	100	320
	potplants ±	675	1190

* The sum of successive cultures during one year.

Organisation

The production in glasshouses is mainly concentrated in a few areas of which the Westland and Aalsmeer are the best known. These areas are situated near the cities and harbours in the western part of the country. The production takes place at private enterprises however supported by an intensive governmental research - and extension service. The growers themselves are organized in their growers association with its regional studygroups. The combined marketing takes place in a very efficient way through the cooperative auction system both for the home market as well as for export. Many growers are strongly specialized. Sometimes they produce only one or a very small number of crops. Also due to the concentration of the production in centres the growers are supported by a well developed network of specialized supply companies for all sort of products such as for greenhouses, climate controllers, machinery and also for seed production, plant propagation, soil cultivation and control of pests and diseases.

The holding

Of the 16 000 holdings with glasshouse, more than 2 000 have over one hectare (2½ acres) glass. The average for the vegetable growers is about 1,4 acre that for growers of ornamentals is nearly 1,1 acre. Many holdings, especially the modern ones have built up their glasshouse in one block. Working shed and boiler house have been positioned in the centre or just in front of the glasshouses. The transport lines are inside the houses alongside the wall or in the middle of the glasshouse complex. In such a way the heating system can have the most simple lay out and transport lines are short and well protected against unfavourable weather conditions. Building of glasshouses in blocks has more advantages. The price per acre will be lower both in constructing as in heating the unit. The most optimal dimension is the square, in which the minimum length of sidewalls is required. Also heat losses are at minimum in that case. On the other hand the total light transmission is a bit

lower. Many of the activities of the holdings are concentrated in the working shed. How much depends on how good the transport system is. A good arrangement of the machinery and storage space in the shed is as important for an efficient use of labour and for a high output as the quality of the machinery itself. Therefore a modern holding needs a well-arranged working compartment of sufficient size.

Mechanisation and automatisation equipment in the glasshouse

To produce a good crop the grower has to maintain an optimum in a number of growing factors such as: soil structure, water and fertilizer supply, plant protection and climate control. Some aspects of the use of equipment by the Dutch grower to optimize the growing factors will be described now.

Soils

Soil tillage and soil preparation at the holding is mostly done by a contractor. Examples are: the sterilization of soils with chemicals, the main soil tillage and digging furrows for the strawbales for a cucumber culture. Steam sterilization is often done by the grower himself using his own boiler for the steam production. Sheets are widely used to steamsterilize the sufficiently cultivated soil from the top. Recently steaming via a permanent system of burried polypropylene tubes is a new development that becomes popular because of saving in labour and energy.

Plantpropagation

In the Netherlands during the last twenty years the propagation of seedlings mainly in soilblocks has developed as a special line in the horticultural production, especially for the production of vegetable plants. During the propagation period selection and an efficient plant protection is possible resulting in a healthy and fast growing seedling. A nearly undisturbed continuation of the growth can be reached when the

seedlings are planted out in a proper stage. Thus saving labour and energy. Also with the propagation in pots many advantages are feasible, however with a much higher labour input. Each year approximately 1 billion vegetable seedlings are delivered to the growers in Holland, produced by specialized seedling producers. Lettuce makes up about 75 % of the total. Also the growing export of millions of seedlings must be mentioned. During the propagation period the seedlings in small soil blocks (4-5 cm) remain in the same position without any need of spacing them. For seedlings of tomatoes, cucumbers, sweet peppers and so on, spacing one or two times is necessary before the plants are big enough for planting out.
Five or six years ago the soil block pressing requires a lot of labour for filling the machine with potting compost and conveying the soil block from the machine to the ground. The mechanical sowing of pelleted seed was then allready introduced.

Later on a self propelled soil block pressing machine was developed placing the soil block directly on top of the soil. Filling the potting compost bunker still requires an amount of labour. At the end of the propagation period the seedlings have to be placed in boxes before transport to the growers. For propagation of tomato, sweet pepper plants etc. spacing will be required. Some years ago a new system was developed. This consists of a stationary soil block pressing machine in the working shed.

This machine fills transport tables, that pass through the machine on a conveyor belt, with soil blocks. The plants are propagated on these tables in the glasshouse, if necessary spaced one time and then transported to the shed for packing in boxes and delivering to the growers.

The most recent development for the propagation of lettuce plants is the full automated stationary soil block pressure machine which places the soil blocks directly in the boxes in which the propagation and marketing take place. A full industrial handling of the boxes in now possible with piling and depiling in the glasshouse and again before marketing, using

special developed machinery.

This development is only possible thanks to the high quality of the seeds resulting in nearly 100 % germination and a uniform development of the plants.

Production of cuttings

Regarding the propagation of cuttings such as those of chrysanthemums and carnations the situation is quite different. This propagation requires a lot of labour, skilled and unskilled, for a number of activities ranging from picking the cutting from the mother plant to the delivering of the rooted and graded young plant. The fact is that grading by hand is rather inaccurate, or if accurate enough, the gradings will differ from person to person.

When grading has to take place after rooting, mechanical grading seems almost impossible. To develop a new system of propagation with no individual handling after the planting of the unrooted cuttings, a mechanical grading before the planting must be introduced. The cutting must then be rooted in a sort of soil block placed in the tray in which they will be delivered to the grower.

Only the Dutch propagaters of chrysanthemum cuttings alone are marketing more than one billion cuttings in and outside the country. This is a big market worth developing a new mechanisation system for. Five years ago the Institute of Agricultural Engineering (IMAG) at Wageningen started with a project for mechanical grading of cuttings. The principal used, based on weighing, was not successfull because the capacity of one grading unit did not rise above 5 000 cuttings per hour. Last year we turned over the grading based upon measuring the projected area of the cutting (shadow) with the use of two light sensors. This seems so promising that a prototype machine with a capacity of 14 000 graded cuttings per hour will be built this year. The development of a system

for the propagation of cuttings of acceptable egality directly in boxes is now feasible.

Mechanisation during planting and crop growth

Describing in short all developments in the mechanisation from planting to harvest is impossible. Only a few topics shall be mentioned. Planting machines for soil blocks are available and in use for several crops such as lettuce. However the first steps to a full mechanisation have been made at IMAG.

To the supply of water and fertilizers, methods of sprinklings and trickle irrigation are in use. As a rule, top dressings of fertilizers are given together with the water. For monitoring these quantities, equipment is in use based on time and concentration measurements. Developments are taking place in the culture in artificial substrates where a further monitoring is possible and necessary.

Control of the climate with equipment using several indoor and outdoor climate factors is widely used in the Dutch glasshouses. In this field also the use of the computer is fully accepted. At a thousand holdings climate regulation and sometimes also the supply of water and fertilizers, the screening system and the artificial illumination is monitored by the computer.

During the culture and especially in harvesting a *transport system* can ease the labour to be done. At many Dutch holdings the heating pipes are used in one way or another to carry the transport medium. Two systems can be distinguished: first the tube-rail-system with two heating pipes on top of the soil and secondly the monorail system with one pipe above the crop. Several variations based upon these two systems are possible such as the gantry used for picking cuttings and the double rail for transport of potplants.

A slight variation of the theme of the tube rail is the transport of roses using wires instead of heating pipes. This system has been developed by IMAG-engineers so as to be free in the positioning of heating pipes or heating system. Especially important in the future when a lower number of heating pipes will be applied in houses with a low energy need, so that the normal tube-rail-system cannot be used.

Movable tables

Describing the method of seedling propagation we allready mentioned the transport table as a new phenomenon in the Dutch horticulture. This production aid is very important in the recent development in the potplant production. Two systems are in use since a few years. First the roll table, only movable over a distance of appr. 60 cm, the path width, and secondly the transport table, a transportable unit of 1,60 x 3,00 or 6,00 m, movable from the working shed to the glasshouse and vice versa.

Roll tables are being installed at nearly all new or newly installed glasshouses replacing the normal fixed tables. Only a limited number of paths are kept free in the whole house, while the required path can be made by rolling the table(s) towards the free space available. In this way the use of the floor area of the glasshouse can be increased from 65 to 80 %, making the higher investment very profitable. Roll tables are used for all crops that require much labour during the culture and crops with a long culture period.

Transport tables can be used in a profitable way for crops with a short cultivation period where relative less labour is required during the culture. The activities such as planting, spacing and harvesting are carried out in a working compartment where these handlings can if possible be mechanized (such a development started at IMAG in 1971). The culture itself takes place in the glasshouse. For the transport in the growing area the heating pipes are used to support and guide the tables. For the transport from and to the working compartment several methods are

in use such as roller conveyers, rails and cars. The whole system is expensive and is only economical with an intensive use of the glasshouse and a high degree of mechanization in the working shed. The culture of cut-chrysanthemums in nutrient film on transport tables is a good example of these possibilities.

Mechanical harvest of chrysanthemums

Finally a brief description will be given of a new culture system for cut-chrysanthemums. This culture is based on the growth of plants in nutrient film in removable gutters. These gutters are placed on a transport table. The gutters are placed close together during the rooting period (long day) and at end distance during the second period of the culture (short day).

When the flowers are ready for harvest the tables are transported to the harvesting machine which is a part of the transport line. A cutting device is connected with a frame that keeps the cut flowers upright during grading and bunching. The table moves with such a speed that two people can continually harvest.

To give the cutting device free entrance to the crop the supports of the netting are placed in the middle of the ends of the table. The mechanization of the planting and emptying is under development.

The system requires a very homogeneous crop, suitable for ones over harvesting. To be able to introduce this system, a precise grading of the cuttings is necessary. The intensive use of the glasshouse and the quick growth of the crop in nutrient film make this culture method profitable.

Only a limited number of developments in the mechanization of the dutch horticulture under glass could be presented in this paper. The development of mechanization systems was started by the huge increase of labour costs in the last decennium. Now the energy crises will

induce a lot of new changes such as new heating and screening systems, the development of new types of greenhouses with other materials and last but not least systems of more intensive use of glasshouses as described above which in turn will make new labour saving mechanization system possible.

This all with the aim to produce a quality product for a reasonable price.

La mécanisation des serres

Ir. C.J. Van der Post

Institut de génie agricole
de Wageningen
Hollande

Introduction

La superficie des Pays-Bas n'est que d'environ 40 000 km^2 (15 400 milles carrés), alors que leur population est de quatorze millions d'habitants, soit une densité de 350 personnes au kilomètre carré (910 au mille carré). Situés sur les rives de la mer du Nord, ils bénéficient d'un climat maritime doux assez favorable à la plupart des cultures horticoles. En outre, les grands centres industriels densément peuplés de l'Europe de l'Ouest constituent un excellent marché pour nos exportations; en fait, la plus grande partie (env. 80 %) de notre production horticole est exportée. Notre technique de commercialisation repose sur la vente aux enchères (collectives). Depuis quelques années, notre façon de procéder attire des producteurs qui viennent des autres continents pour vendre leurs produits (des fleurs) aux consommateurs ouest-européens.

TABLEAU 1 Données climatologiques sur les Pays-Bas

Température moyenne	moyenne annuelle	9,3° C
le jour	janvier	1,7
	juillet	17,0
Nombre d'heures d'ensoleillement	total par année	1 575 heures
	décembre	40
	juin	223
Précipitations	totale par année	784 mm
	mars	44
	août	93

Quelques statistiques

Depuis le début du vingtième siècle, les Pays-Bas mettent l'accent sur les cultures horticoles en serre tant pour les protéger contre les intempéries que pour prolonger la période de végétation active. Dans plus de 90 % des cas, nos serres sont en verre; le tableau 2 illustre l'augmentation de la superficie vitrée.

TABLEAU 2 Superficie (en acres)

	1960	1970	1978
Légumes	10 042	13 435	11 435
Plantes ornementales	1 253	4 085	8 687
Divers	1 193	575	340
Total	12 388	18 095	20 462

Les cultures ornementales ont beaucoup progressé par rapport aux cultures légumières au cours des années 1970. Environ 85 % des serres sont munies d'un appareil de chauffage; dans 95 % des cas, il s'agit d'une chaudière centrale qui alimente des conduites d'eau chaude.

Le tableau 3 porte sur les principales cultures produites en serres.

TABLEAU 3 Superficie consacrée à la culture des légumes et des plantes ornementales (en acres)

			1973	1978
Légumes:	tomates	*	7 680	6 795
	concombres	*	3 240	3 268
	laitue	*	8 260	7 242
	cornichons		830	660
	poivron doux		505	480
Plantes ornementales:				
	roses		1 400	1 740
	chrysanthèmes ayr		962	1 192
	oeillets		923	1 073
	freesias	±	600	873
	gerberas		100	320
	plantes en pot	±	675	1 190

* Somme des récoltes successives au cours d'une année.

Organisation

Les exploitations serricoles sont concentrées dans quelques régions, dont les mieux connues sont le Westland et l'Aalsmeer. Ces régions se trouvent près des villes et des ports de l'ouest du pays.

Il s'agit d'exploitations privées qui bénéficient toutefois d'importants services de recherche et d'enseignement complémentaire fournis par l'Etat. Les producteurs possèdent leur propre association qui compte des groupes d'étude dans les régions. La vente aux enchères des produits destinés aux marchés intérieur et extérieur constitue un excellent mode de commercialisation collective. Bon nombre de producteurs sont très spécialisés;

certains se limitent à quelques cultures seulement. Parce qu'ils se concentrent dans certaines régions, les producteurs peuvent profiter d'un solide réseau de fournisseurs spécialisés de matériel serricole (appareils de climatisation, machines) et de produits reliés à la production des semences, à la propagation des plantes, à la culture du sol, et à la lutte contre les insectes nuisibles et les maladies.

Exploitations

Des 16 000 exploitations serricoles, plus de 2 000 ont une superficie supérieure à un hectare (2½ acres). Pour les producteurs maraîchers, la moyenne est d'environ 1,4 acre, tandis que pour les producteurs de plantes ornementales, cette moyenne est de près de 1,1 acre. A bien des endroits, surtout dans les exploitations les plus récentes, les serres forment un bloc, l'atelier et la chaufferie se trouvant au centre de l'installation ou directement à l'avant. La tuyauterie passe le long des murs ou au centre des serres. Ainsi, la disposition des organes du système de chauffage est-elle simplifiée au maximum, et la tuyauterie réduite le plus possible, tout en étant bien protégée contre les intempéries. La constitution de blocs offre d'autres avantages; par exemple, elle entraîne une diminution des coûts de construction et de chauffage. La forme carrée donne le meilleur rendement parce qu'elle permet de réduire au maximum la longueur des murs et les pertes de chaleur. Toutefois, l'éclairement total est alors un peu plus faible.

Bon nombre des activités de l'exploitation se déroulent dans l'atelier. La proportion dépend du réseau de transport interne. En ce qui a trait à la productivité, la disposition des machines et de l'aménagement de l'espace d'entreposage dans l'atelier importent tout autant que la qualité des machines. C'est pourquoi une exploitation moderne doit comporter un atelier bien aménagé et de dimensions convenables.

Mécanisation et automatisation des serres

Pour obtenir une récolte satisfaisante, le producteur doit veiller sur un certain nombre de facteurs dont la structure du sol, l'apport en eau et en engrais, la protection des plantes et la climatisation. Voyons maintenant quelques-unes des méthodes utilisées par les producteurs néerlandais pour améliorer le rendement de leurs exploitations.

Les sols

La plus grande partie du travail et de la préparation du sol est effectuée par un entrepreneur, par exemple, la stérilisation du sol au moyen de produits chimiques, le gros de la préparation et le creusage de sillons pour la paille dans les cultures de concombres. En revanche, c'est souvent le producteur qui se charge de la stérilisation à la vapeur. Il se sert alors de la vapeur dégagée par la chaudière de son installation. L'utilisation de jets de vapeur sur les sols bien préparés est très répandue. Un nouveau procédé de stérilisation à la vapeur gagne cependant des adeptes: il consiste à enfouir des tubes de polypropylène dans le sol, ce qui permet d'épargner énergie et main-d'oeuvre.

Propagation

Au cours des vingt dernières années, la production de semences (surtout en pots de terre et plus spécialement celle des légumes) s'est affirmée comme une spécialité horticole distincte aux Pays-Bas. Une sélection et une protection efficace des plants pendant la période de propagation se traduit par des semis en bonne santé et à croissance rapide. Quand les semis sont transplantés au bon moment, la croissance se poursuit presque sans interruption. Le producteur peut ainsi réaliser des économies de main-d'oeuvre et d'énergie. La propagation en pots comporte d'autres avantages, qui nécessite un apport beaucoup plus important de main-d'oeuvre.

Chaque année, les producteurs spécialisés fournissent environ un milliard de jeunes plants aux maraîchers hollandais; la laitue représente 75 % de cette production. Il est également important de signaler qu'une bonne partie de la production (des millions de plants) est exportée. Pendant l'étape de propagation, les semis demeurent dans de petits pots de terre de 4 ou 5 centimètres, où il n'est pas nécessaire de les éclaircir. Pour ce qui est des semis de tomates, de concombres et de poivrons doux entre autres, il faut procéder à un ou deux éclaircissages avant de les transplanter.

Il y a cinq ou six ans, le pressage des pots représentait une somme de travail considérable puisqu'il fallait remplir la machine de compost et déposer les pots sur le sol. Par contre, les semences s'effectuaient mécaniquement à cette époque.

Plus tard, on a mis au point une presse à pot automotrice qui place les pots directement sur le sol. Néanmoins, le remplissage de la trémie à compost nécessite encore la présence de l'homme. A la fin de la période de propagation, les semis sont mis dans des boîtes, puis livrés aux producteurs. Il est cependant nécessaire d'éclaircir les tomates, les poivrons doux, etc.

Un nouveau dispositif a été mis au point il y a quelques années. Il s'agit d'une presse à pots fixe conçue pour être installée dans l'atelier. Les tables de transport et les pots sont déposés sur la courroie d'un convoyeur qui passe dans la machine. Cette dernière remplit les pots et la propagation s'effectue ensuite sur les tables, dans les serres. S'il y a lieu, on éclaircit les plants une fois, puis on les emporte à l'atelier où ils sont emballés pour la livraison.

La grande nouveauté en ce qui a trait à la propagation de la laitue est une presse à pots complètement automatique qui dépose les pots directement dans les boîtes qui servent ensuite à la propagation et à la livraison. La manutention des boîtes. de la serre au point de vente, peut maintenant

se faire au moyen de machines spécialement conçues à cette fin. Ce progrès est dû à la haute qualité des graines dont le taux de germination approche les cent pour cent et dont le développement est uniforme.

Production de boutures

Quant à la propagation des chrysanthèmes et des oeillets par bouturage, la situation est assez différente. Ce genre de culture nécessite une main-d'oeuvre nombreuse (spécialisée et non spécialisée) pour l'exécution d'une variété de tâches qui s'échelonnent du prélèvement des boutures à la livraison des jeunes plants enracinés et tirés. En fait, le tri des jeunes plants à la main est peu précis ou, lorsqu'il l'est, les critères de classement varient d'un trieur à l'autre.

Quand le tri doit être effectué après l'enracinement, la mécanisation paraît impossible. Il faudrait que soit mise au point une méthode permettant le tri mécanique des plants non enracinés avant leur plantation. Les boutures prendront alors racine dans un pot de terre placé dans une clayette, où elles seront ensuite vendues aux producteurs.

Les Hollandais à eux seuls mettent plus d'un milliard de boutures de chrysanthèmes sur les marchés domestique et extérieur. Voilà donc un secteur qu'il serait intéressant d'automatiser. Il y a plus de cinq ans, l'Institut de génie agricole de Wageningen (IMAG) lançait un programme de mécanisation du tri des boutures. La méthode choisie était fondée sur le poids des boutures; le programme n'a pas connu le succès escompté parce que la capacité de triage des dispositifs utilisés ne dépassait pas 5 000 boutures à l'heure. L'année dernière, nous nous sommes orientés vers le tri optique (par la mesure de l'ombre) au moyen de deux photo-senseurs. Cette avenue paraît tellement prometteuse que nous allons faire fabriquer cette année un prototype capable de trier 14 000 boutures à l'heure. Il est maintenant possible de concevoir un procédé permettant la production de plants raisonnablement uniformes directement dans les boîtes.

Mécanisation des étapes de plantation et de croissance

Il est impossible de décrire toutes les nouvelles machines qui servent à la plantation et à la récolte; il suffira d'en mentionner quelques-unes. Des exploitations possèdent déjà des machines capables de semer certaines plantes dans des pots, la laitue entre autres. L'IMAG a fait les premiers pas en vue d'une automatisation complète des tâches.

En ce qui concerne l'approvisionnement en eau et en engrais, on a recours à des méthodes d'irrigation par faible filet d'eau et par vaporisation. Généralement, la fumure superficielle à l'engrais s'effectue en même temps que l'arrosage. Des dispositifs de contrôle veillent sur les quantités d'engrais apportéeset sur la durée de l'opération. On enregistre des progrès dans le secteur des cultures en milieu artificiel, qui peuvent être contrôlées de plus près.

La climatisation adaptée est très répandue dans les serres néerlandaises et, à cette fin, l'utilisation de l'ordinateur s'est généralisée. Dans un millier d'exploitations, la climatisation, et parfois l'apport en eau et en engrais, le tri et l'éclairage artificiel, sont réglés par ordinateur.

Pendant la culture, et surtout au moment de la récolte, la présence d'un *réseau de transport interne* facilite le travail. C'est souvent la tuyauterie du chauffage qui sert de voie de circulation. On distingue deux systèmes: dans le premier, deux conduites servent de rails au-dessus du sol, tandis que dans le deuxième, une seule passe au-dessus des plantes. On note de nombreuses variantes dont le pont roulant, qui sert au prélèvement des boutures, et le rail double, réservé au transport des plantes en pots.

Une autre variante consiste à transporter des roses au moyen de deux fils métalliques au lieu d'utiliser les conduites d'eau chaude. Ce dernier système a été conçu par les ingénieurs de l'IMAG qui désiraient ainsi disposer la tuyauterie comme ils l'entendaient. Cela peut devenir très

important quand on pourra limiter le nombre de conduites dans les serres à faible consommation énergétique et qu'on ne pourra plus compter sur la tuyauterie.

Tables mobiles

Dans ma description des méthodes de propagation par semis, j'ai mentionné les tables mobiles. Il s'agit là d'une nouveauté très importante pour la production des plantes en pot aux Pays-Bas. Deux modèles sont utilisés depuis quelques années. D'abord, la table sur roues qui se déplace de 60 centimètres seulement, et la table de transport qui constitue une unité mobile de 1,60 sur 3 ou 6 mètres, conçue pour faire la navette entre l'atelier et la serre.

Les tables sur roues se retrouvent dans presque toutes les nouvelles installations, où elles remplacent les tables fixes. Elles permettent de ne conserver qu'un nombre restreint de passages dans les serres, et d'en créer d'autres au besoin en poussant les tables là où il y a de l'espace. Il est ainsi possible de faire passer le taux d'occupation de la surface de 65 à 80 %, donc de rendre l'investissement supplémentaire très profitable. On utilise les tables sur roues pour les cultures à croissance lente et pour celles qui nécessitent des soins fréquents.

D'autre part, les tables mobiles servent pour les cultures à croissance rapide qui nécessitent moins de soins. La plantation, l'éclaircissage et la récolte ont lieu en atelier où ces étapes peuvent être automatisées (l'IMAG s'intéresse à cet aspect depuis 1971). Par ailleurs, la culture proprement dite s'effectue dans les serres. Lorsqu'on transporte des plantes dans la serre, les conduites d'eau chaude servent de supports et de guides aux tables. Pour ce qui est du transport entre l'atelier et la serre, on a recours à divers moyens dont les transporteurs à rouleaux, les rails et les wagons. Le coût de ce genre d'installation est très élevé. Par conséquent, seule une utilisation intensive des serres et une forte mécanisation de l'atelier peuvent rentabiliser cet investissement. La culture

en solution nutritive sur les tables de transport de chrysanthèmes destinés au marché de la fleur coupée serait une des possibilités.

Récolte mécanique des chrysanthèmes

Quelques mots enfin sur la culture des chrysanthèmes pour la fleur coupée. Dans ce genre de culture, les plantes sont placées dans un bassin amovible rempli de substances nutritives. Les bassins, qui se trouvent sur les tables de transport, sont placés côte à côte tant que les plantes prennent racine, (période de jours longs) puis sont éloignés pendant la deuxième période de la croissance (période de jours courts).

Au moment de la récolte, les tables sont transportées à la récolteuse qui est intégrée à la chaîne de production. Un dispositif de coupe muni d'un support retient les fleurs à la verticale pendant le tri et la mise en bottes. Les tables circulent à une vitesse suffisante pour occuper deux personnes.

Pour que le dispositif de coupe ait accès aux plantes, les supports du filet se trouvent à chaque extrémité de la table, au centre. On tente de mettre au point des planteuses et des videuses automatiques.

Ce genre d'installation est conçu pour récolter des cultures très homogènes et nécessite donc un tri très précis. Elle peut être rentabilisée par l'utilisation intensive des serres et la culture de plante à croissance rapide dans une solution nutritive.

J'ai malheureusement dû me limiter à quelques-unes seulement des innovations techniques hollandaises dans le domaine de la serriculture.

La mécanisation des serres au cours des dix dernières années s'explique par une forte augmentation du coût de la main-d'oeuvre. La crise de l'énergie nous vaudra de nouveaux appareils de chauffage et de tri, la mise au point de serres fabriquées à partir de matériaux nouveaux et

surtout une utilisation intensive des serres qui entraînera à son tour l'arrivée de nouvelles machines nous permettant d'offrir des produits de qualité à un coût raisonnable.

Perspective pour le Québec

Jean-Luc Lussier

Centre de développement des cultures abritées du Québec
Ministère de l'Agriculture
Sainte-Martine
Québec, Canada

L'industrie des serres au Québec est relativement jeune. Nous n'en sommes encore qu'au début. Nous sommes loin, en termes d'importance, de certains pays européens qui comptent plusieurs milliers d'hectares pour les cultures sous abris, soit de serres, soit de tunnels. Il faut toutefois constater que généralement, les superficies en cultures abritées sont en relation directe avec le taux de population, sauf naturellement pour les pays qui exportent leur produit, comme la Hollande.

Je ne pense pas que l'on doive songer au Québec à l'exportation de produits de serre car notre situation géographique ne nous est pas favorable. Le Québec compte environ 6 000 000 de personnes. Il est illusoire de penser qu'un jour une partie de notre province sera recouverte de plastique. Néanmoins, les possibilités de développement dans ce secteur sont très bonnes.

Présentement, le Québec compte près de 160 acres sous abris. De ce nombre environ 55 acres servent à la production de légumes sous serre ou sous tunnels. J'aimerais préciser ici qu'au Québec, nous n'utilisons pas les petits tunnels type nantais pour la culture extérieure mais des tunnels de 4 à 6 mètres de largeur. Notre degré d'autosuffisance en légumes sous abris est relativement faible. Nous ne produisons que 14 % des tomates sous abris que nous consommons tandis que ce pourcentage est de 22 % pour la laitue et de 28 % pour le concombre. Pour ce qui est de ces autres légumes produits sous abris, cela ne vaut pas la peine d'en parler car le volume produit est trop faible.

Malgré leur jeune âge, les cultures sous serres au Québec ont dû faire face à de nombreux problèmes. Parmi les plus importants, nous devons signaler:

1 manque de technicité,
2 sous-utilisation de nos installations,
3 énergie.

Manque de technicité

Le manque de technicité que nous rencontrons dans les cultures abritées provient en large partie du manque de connaissance des gens engagés dans ce secteur. Ce problème n'est pas spécifique aux cultures sous abris, mais se rencontre également dans toutes les nouvelles industries en développement. Ce manque de connaissance se traduit par une productivité plus faible des entreprises.

Sous-utilisation des installations

La majorité des producteurs québécois utilisent leurs serres durant une période relativement courte. A cause d'un manque de technicité et de l'accroissement considérable du coût de l'énergie, peu de producteurs pratiquent des cultures d'automne. Il en résulte un manque de spécialisation car les serristes doivent souvent avoir un revenu extérieur et subir une réduction de la rentabilité car les charges fixes doivent être amorties sur une seule production.

Energie

Le problème énergétique dans les serres est un problème mondial. Depuis 1974, le prix de l'huile n'a cessé d'augmenter et ces accroissements se poursuivront à l'avenir. A l'automne, les serristes devront débourser près de 80¢ pour acheter un gallon de mazout nº 2. Ce prix est relativement faible comparativement à celui payé par les serristes européens, mais au Québec, les rigueurs du climat entraînent une consommation de 15 gallons de mazout pour chauffer 1 mètre carré de serre au cours d'une année complète.

L'avenir des cultures maraîchères sous serres au Québec dépendra des solutions que nous apporterons pour remédier à ces problèmes. Déjà certaines actions entreprises nous rendent optimistes pour l'avenir.

Ainsi, dans le domaine énergétique, nous pouvons considérablement réduire nos besoins en adoptant des moyens connus; de plus, le développement de nouvelles techniques laisse entrevoir des économies encore plus considérables. Lorsque l'énergie était très bon marché comme dans les autres secteurs de l'économie, nous avons gaspillé cette énergie. Mais aujourd'hui, nous nous devons d'employer des moyens de plus en plus sophistiqués pour réduire nos coûts de chauffage et notre dépendance relativement aux produits du pétrole.

Cela peut être réalisé de diverses façons:

- en isolant davantage les serres afin de réduire les pertes de chaleur;
- en utilisant des sources d'énergie moins coûteuses que le mazout n° 2 généralement employé;
- en augmentant la productivité dans les serres. Donc, réduction du coût de l'énergie par unité produite.

L'isolation des serres peut être effectuée de façon permanente en isolant les murs verticaux qui n'obstruent pas de façon appréciable la pénétration de la lumière. Elle peut être effectuée de façon temporaire en utilisant des matériaux amovibles, telles les couvertures thermiques, les billes de polystyrène ou de mousse. Sous nos conditions climatiques, l'isolation de la moitié des murs verticaux et l'emploi de couvertures thermiques peuvent amener une économie d'énergie de près de 50 % dans le cas de serres recouvertes de deux parois de polythène.

Au Québec, nous avons plusieurs sources d'énergie qui pourraient être utilisées en remplacement du mazout n° 2. Certaines substances considérées comme déchets pourraient être employées comme combustible dans les serres et nous avons une source d'énergie renouvelable appréciable: le bois. Déjà, plusieurs producteurs utilisent le bois comme combustible et de nombreux autres étudient cette possibilité. De plus, la chaleur perdue par de nombreuses usines pourrait éventuellement servir à chauffer des complexes de serres. Cette dernière possibilité est envisagée par de

nombreux pays et, au Québec, diverses démarches ont été entreprises en ce sens. Généralement, les investissements nécessaires pour récupérer cette chaleur d'usine sont considérables. Mais, à moyen et à long terme, ces projets sont très rentables, la source énergétique étant accessible à bas prix.

Malheureusement, la mise en place de moyens ou de systèmes pour réduire les coûts de chauffage dans les serres s'accompagne d'un investissement supplémentaire dont l'importance est fonction de la sophistication du système. C'est la raison pour laquelle depuis quelques mois, le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation offre aux serristes québécois une aide financière pour couvrir une partie importante des dépenses nécessaires pour offrir une meilleure isolation et pour utiliser des sources d'énergie moins coûteuses que le mazout nº 2.

J'aimerais ouvrir ici une parenthèse en ce qui concerne les divers moyens pour réduire les coûts de chauffage dans les serres. L'adoption d'un système d'économie d'énergie doit être étudié en tenant compte de tous les paramètres influençant la rentabilité des cultures. Le problème énergétique ne doit pas être isolé. La mise en place d'une nouvelle méthode doit être étudiée en tenant compte de ses effets sur les coûts de main-d'oeuvre et sur la productivité des plantes et de la serre. Nous ne devons pas nécessairement tenter de réduire au minimum la demande énergétique dans les serres, mais plutôt obtenir un équilibre entre les besoins en énergie, la demande en main-d'oeuvre et la productivité de la serre qui permettra au serriste d'obtenir le maximum de revenus nets.

L'utilisation de systèmes énergétiquement plus efficaces devrait permettre aux producteurs de serres d'utiliser leur installation sur une plus longue période. Afin de contrer les augmentations du coût de l'énergie, les serristes du Québec ont retardé leur plantation au printmps et ont presque éliminé les cultures d'automne. Nous pensons qu'en réduisant de façon appréciable les coûts de chauffage dans les serres,

nous inciterons les producteurs à utiliser leurs serres le plus longtemps possible.

De plus, le développement d'une "nouvelle" culture sous serres au Québec devrait permettre à plusieurs serristes d'accroître leur revenu. Il s'agit de la laitue semi-pommée européenne expérimentée sur une petite échelle il y a environ trois ans. Près d'une quinzaine de producteurs en cultiveront cet automne dans leurs serres et déjà certains songent à en récolter du mois d'octobre au mois de mai. Quatre à cinq récoltes pourront ainsi être produites par unité de surface. La laitue semi-pommée est une culture intéressante en ce sens qu'elle nécessite peu de chauffage et qu'elle est peu exigeante en main-d'oeuvre.

Au cours des prochaines années, nous devrions assister à un grand développement dans le secteur des cultures sous grands tunnels. Le tunnel est plus ou moins une serre rudimentaire sans système de chauffage ou munie d'un système de chauffage de faible capacité et sans système dynamique de ventilation.

Le grand tunnel dont la largeur varie généralement de 4 à 6 mètres présente l'énorme avantage d'être peu coûteux. Ainsi, son prix est d'au moins quatre fois inférieur à celui de la serre en plastique. De plus, les cultures sous grands tunnels demandent très peu d'énergie. Nous désirons, en utilisant ce type de culture, devancer d'au moins deux à quatre semaines les productions de champ et/ou protéger contre les premières gelées les cultures d'automne. Ce système de culture nous permet surtout de profiter des prix élevés généralement consentis pour les légumes de primeur. Ainsi, à titre d'exemple, la tomate sous grand tunnel, à partir d'une transplantation vers le 25 avril, peut être récoltée de la fin de juin jusqu'au début d'août au moment où dans la région de Montréal l'abondance des tomates de champs provoque la chute des prix. Mais, durant tout le mois de juillet la demande pour la tomate de qualité est très forte et les prix sont des plus intéressants.

Etant donné qu'à cette période de l'année, la lumière n'est plus un facteur limitatif et que le taux d'humidité est moins élevé, nous pouvons doubler la densité de population généralement employée pour les cultures sous serres; c'est-à-dire que nous accordons seulement 2 pi^2 par plant, soit environ 5 plants au m^2. La production s'effectue sur seulement quatre ou cinq grappes et le rendement obtenu est de l'ordre de 2 lbs/ pi^2 ou près de 10kg/m^2. C'est une production qui est très rentable.

D'autres espèces présentent un très bon potentiel comme cultures sous grands tunnels. Malheureusement tout est à faire dans ce domaine. Nous ne faisons que commencer à explorer ces possibilités.

Devant les importants avantages qu'offrent les cultures sous tunnels, plusieurs producteurs ont déjà opté pour ce genre de culture et plusieurs autres sont sur le point de le faire. Les manufacturiers ont également emboîté le pas et tous les constructeurs de serres québécois offrent maintenant à leur clientèle divers modèles de tunnels.

Les cultures sous grands tunnels présentent un très fort potentiel de développement et des travaux de mise au point ou de recherche devront être poursuivis et intensifiés afin d'exploiter au maximum et au plus tôt toutes les possibilités qu'ils offrent.

Une autre nouvelle technique de cultures sous abris a fait son apparition au Québec il y a environ deux ans et devrait continuer à se développer. Il s'agit d'appliquer sur une culture un film plastique possédant de très nombreuses perforations. Le film plastique peut protéger les cultures contre les dernières gelées et les nombreuses perforations assurent une ventilation naturelle des cultures. Au fur et à mesure que les plantes se développent, elles soulèvent le film plastique. Cette nouvelle technique nécessite un investissement très faible, de l'ordre de 30¢/m^2. Elle exige très peu de main-d'oeuvre et elle permet de hâter la récolte de certaines cultures, telle la laitue, d'environ une semaine.

En conclusion, il importe de poursuivre le développement des cultures sous abris au cours des prochaines années. Quant aux cultures sous serres, nous devrons obligatoirement accroître l'efficacité de nos exploitations en perfectionnant nos techniques de culture, en produisant plus longtemps et en réduisant le coût de l'énergie. Les entreprises de culture sous serres devront accroître leur spécialisation, ce qui leur permettra de produire davantage à un coût inférieur. Par ailleurs, le potentiel des cultures sous tunnels et très grand et nous ne faisons que commencer à explorer ce secteur. L'industrie des cultures abritées est une industrie jeune qui a déjà fait preuve de beaucoup de dynamisme. Des efforts communs et soutenus de tous les intéressés demeurent indispensables pour un développement harmonieux.

Annexe 1:

Adresses

Robert Brun
Station expérimentale horticole
du Mas Blanc
66200 Alénya
France

Jean-Luc Lussier
Ministère de l'Agriculture
55, rue Saint-Joseph
Sainte-Martine

André Nisen
Faculté agronomique de l'Etat
Avenue de la Faculté
B- 5800 Gembloux
Belgique

Ir. C.J. Van der Post
Head of the Horticulture
Liaison Department
Instituut voor Mechanisatie
Arbeib en Gebouwen
Mansholtlaan 10-12
Post bus 43
6700 AA Wageningen
Hollande

William J. Roberts
Rutgers State University
P.O. Box 231
New Brunswick
New Jersey 08903
U.S.A.

G.W. Winsor
Glasshouse Crops
Research Institute
Worthing Road
Rustington, Littlehampton
West Sussex
BN16 3PU
England

Liste des publications de la série Colloques scientifiques

N° 1 Floriculture
N° 2 Foresterie
N° 3 Cactacées et plantes grasses - Parution en juin 1981
N° 4 Pelouses - Parution en juin 1981
N° 5 Annuelles - Parution en juin 1981
N° 6 Protection des végétaux - Parution en juin 1981
N° 7 Roses - Parution en juillet 1981
N° 8 Iris et Pivoines - Parution en juillet 1981
N° 9 Plantes d'appartement - Parution en juillet 1981
N° 10 Ericacées - Parution en juillet 1981
N° 11 Orchidées - Parution en août 1981
N° 12 Vivaces - Parution en août 1981
N° 13 Aménagement paysager - Parution en août 1981
N° 14 Arbres et arbustes - Parution en septembre 1981
N° 15 Perspectives de l'horticulture, arbres fruitiers et petits fruits - Parution en septembre 1981
N° 16 Perspectives de l'horticulture, cultures abritées Parution en septembre 1981
N° 17 Bulbes et tubercules - Parution en septembre 1981
N° 18 Gesnériacées - Parution en septembre 1981
N° 19 Art floral Ikebana - Parution en septembre 1981

En vente à l'adresse suivante:

L'Editeur officiel du Québec
1283, boulevard Charest ouest
Québec G1N 2C9